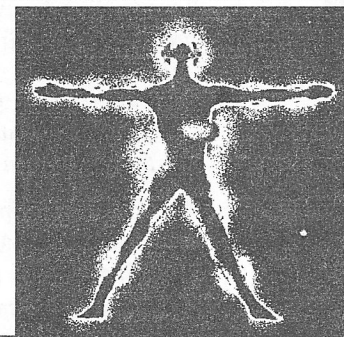


БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



Выходит с 1998 года

Научно-прикладной журнал

Главный редактор: академик Ю.В.ГУЛЯЕВ

Редакционная
коллегия:

Л.П.Андрианова, к.т.н. В.Р.Анпилогов, проф. О.В.Бецкий (зам. главн. ред.), проф. Э.А.Гельвич, проф. М.Б.Голант, акад. Н.Д.Девятков, П.И.Зудков, д.ф.-м.н. В.В.Кислов, проф. В.Я.Кислов, к.м.н. А.Ю.Лебедева, д.б.н. Н.Н.Лебедева, к.т.н. И.В.Лишин, Н.П.Майкова, д.м.н. В.П.Невзоров, проф. Ю.В.Обухов, проф. Н.И.Синицын, проф. Ю.А.Холодов, к.ф.-м.н. Ю.П.Чукова, д.т.н. С.И.Щукин

Редактор выпуска доктор физ.-мат. наук, профессор О.В.Бецкий

Содержание

№ 3

1998

МЕХАНИЗМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ Mechanisms of Biological Effects of Electromagnetic Fields



Роль эпифиза в реализации магнитобиологических воздействий
Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В.

Role of the Pineal Gland in Magnetobiological Effects
N.A.Temuryants, A.V.Shekhotkin

3



Новые физиологические подходы к оценке КВЧ-воздействия на биологические объекты
Родштат И.В.

The New Physiological Approach to the Estimation of EHF Effects on Biological Objects
I.V.Rodsttat

11

МЕДИЦИНА И БИОТЕХНОЛОГИЯ Medicina and Biotechnology



Действие КВЧ-излучения на метаболизм клеток цианобактерий *Spirulina platensis* и других фотосинтезирующих организмов
Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н.

Effect EHF-radiation on Cells Metabolism of Cyanobacterium *Spirulina Platensis* and Other Photosynthetic Organisms
A.H.Tambiev, N.N.Kirikova

17



Применение молекулярно-волновой терапии в комплексном лечении больных с сочетанной патологией
Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Петросян В.И., Киричук В.Ф., Синицын Н.И., Ёлкин В.А., Захаров И.А., Максимова Е.А., Лукашина О.П., Фёдоров В.В., Чернова Е.В., Маркина Н.А.

Using of the Precision-wave Therapy in the Complex Treatment of Patients with Combined Pathology.
A.I.Gulyayev, L.A.Lissenkova, V.A.Petrosyan, V.F.Kirichuk, N.I.Sinitsyn, V.A.Yolkin, I.A.Zakharov, E.A.Maximova, O.P.Likashina, V.V.Fyodorov, E.V.Chernova, N.A.Markina

26



Лазерная клиническая диагностика как одно из перспективных направлений биомедицинской радиоэлектроники

Рогаткин Д.А.

The Laser Clinical Diagnostic as One of the Perspective Branch of Biomedical Radioelectronics and Medical Physics of the Next Millennium

D.A. Rogatkin

34



Исследование функционального состояния головного мозга методами многоканальной СВЧ-радиотермографии

Кубланов В.С., Довгопол С.П., Азин А.Л.

Functional brain state studies by multichannel microwave radiothermography

V.S. Koublanov, S.P. Dovgopol, A.L. Azin

42

УСТРОЙСТВА

Equipment



Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии

Беляков С.В., Бецкий О.В., Яременко Ю.Г.

Condition and tendencies in the Development of Equipment for EHF-therapy

S.V. Belakov, O.V. Betskii, Yu.G. Yaremenko. (Fryazino)

50

Краткие сообщения

Brief Communications



Экспериментальное исследование на животных изменения процентного состава изоферментов лактатдегидрогеназы в семенниках при СВЧ-облучении промышленно-технических частот

Афромеев В.И., Ткаченко В.Н.

Animal Studies of Lactate-dehydrogenase (LDH). Isoenzyme Percentage Changes in Testes under Exposure to Microwave Frequency Ranges Used in Industry

V. I. Afromeev, Y. N. Tkachenko

57

Международное совещание "Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование"

Холодов Ю.А.

59

Учредитель: ЗАО "Издательское предприятие редакции журнала "Радиотехника".



Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати.

Свидетельство о регистрации № 0162 от 10 июня 1997 г.

Выходит при участии:

Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова,
Института радиотехники и электроники АН РФ,
Медико-технической ассоциации КВЧ,
МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Редактор: О.Н.Максурова

Корректор: Р.М.Ваничкина

Сдано в набор 20.09.98. Подписано в печать 23.10.98. Формат 60 × 84 1/8. Бумага Zoom. Гарнитура "Кудряшовская". Печать цифровая трафаретная. Печ. л. 7,8. Изд. № 40.

Адрес ИПРЖР: 103031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел. 925-9241. Тел./факс 921-4837.

E-mail: zaoiprzhr@glasnet.ru

http://www.glasnet.ru/~zaoiprzhr/

Лицензия № 065229 от 20 июня 1997 г. Государственного комитета РФ по печати.

Компьютерная верстка Издательского предприятия редакции журнала "Радиотехника".

Типография издательства МГУ, Москва, Воробьевы горы, ул. Академика Хохлова, д. 11.

© Издательское предприятие редакции журнала "Радиотехника", 1998 г.



В последнее время все большее внимание специалистов в области электромагнитной биологии привлекает гормон мелатонин, биосинтез которого в значительной степени связан с пинеальной железой (эпифизом). С начала 90-х годов за рубежом наблюдается всевозрастающее количество публикаций об ингибирующем влиянии электромагнитных полей (ЭМП) на синтез мелатонина у животных и человека (материалы симпозиумов и совещаний Биоэлектромагнитного общества (BEMS), Европейской биоэлектромагнитной ассоциации (EBEA), журнал "BioelectroMagnetics"). Поскольку целый ряд исследований свидетельствует о том, что мелатонин подавляет рост клеток алокачественных новообразований (в частности, рака груди, рака крови), способность ЭМП блокировать онкостатический эффект мелатонина вызывает серьезное беспокойство.

Предлагаемая вниманию читателей статья (материалы собственных исследований авторов и литературные данные) рассматривает роль эпифиза в реализации биологических эффектов ЭМП и помогает лучше понять их физиологические механизмы.

От редколлегии

УДК 612.537.869

Роль эпифиза в реализации магнитобиологических воздействий

Н.А.Темурьянц, А.В.Шехоткин

Изучение механизмов действия переменных магнитных полей (ПемП) привлекает в настоящее время интерес специалистов различного профиля; разработаны некоторые модели, объясняющие действие ПемП на физико-химические системы.

The problem of the pineal magnetosensitivity has been reviewed basing on modern magnetobiology publications and the authors' findings. It has been showed that electromagnetic exposure of different parameters affects the pineal activity. Change of the temporal organization of biological systems is suggested as the main electromagnetic exposure effect. The present data prove other magnetoreceptive structures but the pineal gland exist as well.

Установлено, что к действию магнитных полей различных параметров чувствителен эпифиз (пинеальная железа). В настоящее время исследована чувствительность эпифиза к воздействию полей различных параметров, в частности: переменных электрических полей — ЭП (частота 60 Гц, напряженность 2...40 кВ/м [1, 2]; частота 900 МГц, интенсивность 0,1...0,6 мВ/см² [3]; ПемП (частота 10...60 Гц, индукция 1 мк...500 мТл [4—8] и др.), включая воздействие поляризованным сигналом [10—13]; статических МП [14—18].

Рассмотрены также изменения функционального состояния эпифиза под влиянием компенсированного геомагнитного поля [19] и эффекты его инверсии [16, 17, 20, 21]. Изучено и влияние ЯМР на нейроэндокринные функции железы [22—24]. Как оказалось, ПемП естественного происхождения (полярная магнитная буря) также изменяет функциональную активность эпифиза [25].

Первые данные о магниточувствительности эпифиза получены в [26, 27], где с помощью микроэлектродной техники было установлено, что при воздействии МП напряженностью 8 А/м через 25 мин наблюдается угнетение на 20—50 % импульсной активности 21,3 % нейронов эпифиза. В полном соответствии с этими данными находятся результаты исследования электронно-микроскопического строения железы, подвергнутой действию МП таких же параметров [28].

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что МП самых различных характеристик вызывают принципиально одина-



Наталья Арменаковна Темурьянц —

д. б. н., проф., зав. лаб. магнитобиологии Симферопольского государственного университета.

Научные интересы:

изучение влияния таких глобальных экологических факторов, как космофизические флуктуации и переменное магнитное поле на биологические системы, исследование механизмов адаптации при воздействии неионизирующих излучений, возможностей терапевтического применения миллиметровых волн.



Александр Владимирович Шехоткин —

к. б. н., с. н. с. лаб. магнитобиологии Симферопольского государственного университета.

Научные интересы:

исследование влияния переменных магнитных полей на биологические ритмы физиологических процессов и роли эпифиза в осуществлении магнитобиологических воздействий.



ковые изменения в функциональной активности эпифиза. О его чувствительности к действию МП различных параметров судят по изменению ряда показателей его функциональной активности. Наиболее часто исследуется уровень основного гормона — *мелатонина* в пинеалоцитах различных животных: птиц [29, 30], мышей [16], хомячков [31, 6], крыс [1, 2], кроликов [32], молочного рогатого скота [33] и ягнят [34]. Во всех случаях обнаружена способность МП нивелировать ночное накопление гормона в железе.

Известно, что синтез мелатонина эффективно происходит только благодаря темновой постсинаптической активации β -адренорецепторов пинеалоцитов [35]. Секретируемые в железе индоламины высвобождаются в циркуляцию непрерывно, пульсирующим образом, не накапливаясь в железе. У человека на ночные часы приходится до 70 % суточной продукции мелатонина [35, 36]. Наряду с повышением уровня эпифизарного и плазменного мелатонина в темновой период отмечаются и другие признаки активации железы [37, 38]. В дневные часы в ткани железы, напротив, накапливается его предшественник — серотонин. Поэтому снижение в эпифизе ночного пика мелатонина под влиянием МП расценивается как его депрессивное действие. Это явление может быть обусловлено супрессией ферментов, катализирующих биосинтез гормона. К таким ферментам относится серотонин-N-ацетилтрансфераза, активируемая *и*-АМФ, под влиянием которой серотонин превращается в ацетилсеротонин, и гидроксииндол-0-метилтрансфераза, превращающая последний в мелатонин.

Обнаружено снижение активности обоих ферментов под влиянием ПеМП [20, 21, 29], а также увеличение в ночное время концентрации серотонина [16]. Существуют и морфологические признаки снижения активности железы под влиянием ПеМП. В частности, обнаружено снижение синаптических *ribbons* [39]). О супрессии функциональной активности эпифиза под влиянием ПеМП свидетельствуют также данные об уменьшении концентрации мелатонина в сыворотке крови [10—13, 40] и снижении экскреции с мочой его метаболитов [5, 41—43]. Определение этих показателей функциональной активности эпифиза приобретает особо важное значение для исследований влияния ПеМП на организм человека. Так, обнаружено снижение ночной экскреции метаболитов мелатонина у некоторых лиц после 8-недельного использования электроодеял [44]. Аналогичное явление в дневное время наблюдалось у 108 водителей локомотивов, подвергавшихся действию ПеМП частотой 16,7 Гц [41]. Была исследована экскреция метаболитов мелатонина в ночное время у людей, всю ночь подвергавшихся воздействию циркулярно-поляризованного ПеМП частотой 60 Гц при индукции

20 мкТл в лабораторных условиях. Снижение экскреции обнаружено только у людей с исходно низким уровнем экскреции. В [45] описано снижение экскреции метаболитов мелатонина у 192 рабочих электрослужб в дневное время. Такое явление зарегистрировано даже при однократном использовании радиотелефона [42].

Однако при трактовке результатов исследования содержания мелатонина в сыворотке крови и его метаболитов в моче следует иметь в виду, что эпифиз не является единственным местом синтеза этого гормона. Известно, что мелатонин секретируется многими элементами APUD-системы [46, 47], составной частью которой является и пинеальная железа.

Снижением функциональной активности эпифиза под влиянием ПеМП объясняются многие физиологические эффекты этого раздражителя, обнаруженные в различных лабораториях. В условиях торможения активности пинеальной железы активируются нейроны, осуществляющие секрецию тормозных медиаторов. Да и в самой железе, где концентрация серотонина и в физиологических условиях высокая, его содержание возрастает под влиянием МП [16]. Благодаря этому возбудимость различных структур мозга, и в первую очередь коры и гипоталамуса, снижается, что приводит к усилению процессов торможения в ЦНС. Действительно, под влиянием слабых ПеМП СНЧ снижается скорость выработки условных пищевых и оборонительных рефлексов [48], нарушаются процессы пространственного обучения и краткосрочная память [49], снижается порог чувствительности к различным раздражителям [50], возрастает риск развития депрессивных состояний [1, 44], уменьшается ночное усиление анальгезирующего действия экзогенных (морфин) или эндогенных (энкефалины) опиоидов. Этот эффект продемонстрирован у различных видов грызунов, моллюсков, голубей, мышей, людей [49, 51]. Стимулирующее влияние МП на процессы роста и развития [52, 53] может быть связано со снятием ингибирующего влияния мелатонина на секрецию гонадотропинов и соматотропного гормона [35, 54]. Перестройки неспецифической резистентности, вызванные действием ПеМП СНЧ, подробно изученные в Симферопольском и Ростовском госуниверситетах, также могут быть обусловлены изменениями функционального состояния эпифиза, играющего иммунонейроэндокринную роль [55].

Торможением функциональной активности эпифиза под влиянием ПеМП объясняется участие последних в эпидемиологии злокачественных опухолей. В настоящее время развивается представление об онкостатическом эффекте мелатонина [56]. Показано, что при введении экстрактов эпифиза подавляется рост клеток определенных злокачественных новообразований, увеличивается



продолжительность жизни мышей с привитыми опухолями [57]. Мелатонин способен ингибировать распространение MCF-7 клеток рака груди [9, 58]. Обнаружено также, что снижение мелатонина в сыворотке крови сопровождается развитием рака груди [59] и является ранним признаком злокачественных новообразований. Поэтому индуцированное ПеМП снижение уровня мелатонина в крови приводит к увеличению риска заболеваемости раком. Действительно, у водителей электропоездов, работающих в зоне действия низкочастотных ПеМП, обнаружено снижение уровня экскреции метаболитов мелатонина и увеличение заболеваемости раком груди, лейкомией [41]. В опытах на культуре тканей также обнаружена способность ПеМП блокировать онкостатический эффект мелатонина [60, 61, 9].

Выраженность описанных эффектов действия МП существенно зависит от некоторых параметров поля. В данной работе рассматриваются закономерности действия лишь переменных ЭП и МП. Следует отметить, что подавляющее большинство работ выполнено с применением ПеМП частотой 10...60 Гц при значительной индукции. Однако найденные для этого диапазона закономерности справедливы, очевидно, и для других частотных полос. Была обнаружена зависимость уровня подавления функциональной активности эпифиза от интенсивности поля. Авторы работы [62] сообщили, что 12-часовое воздействие синусоидальным ПеМП частотой 50 Гц, индукцией 1 и 10 мкТл не влияло на концентрацию мелатонина в сыворотке крови, но при возрастании индукции до 100 мкТл имело место снижение этого показателя. Был также обнаружен эффект при действии поля частотой 50 Гц, индукцией 100 мкТл, но не зарегистрировали его при индукции 1 и 500 мкТл [4]. Отсутствие эффекта ПеМП частотой 50 Гц при индукции 1 мкТл показано также в [12]. Амплитудные окна были обнаружены в опытах на культуре ткани [61] при изучении модификации ПеМП онкостатического эффекта мелатонина.

Таким образом, результаты исследования чувствительности эпифиза к ПеМП свидетельствуют о наличии амплитудных окон, т.е. и в отношении эпифиза существуют известные в магнитобиологии закономерности. Однако эти окна были рассмотрены для сравнительно кратковременных воздействий ПеМП.

При значительном увеличении экспозиции эффективность воздействия ПеМП возрастает. Так, при 30-дневном воздействии ПеМП частотой 50 Гц (по 18 ч в день) обнаружено значительное снижение концентрации мелатонина в сыворотке крови при индукции 10 и 100 мкТл [62], а при 8—9-недельном воздействии ПеМП снижение ночного уровня мелатонина в сыворотке крови у белых крыс наблюдалось и при индукции 0,3...1 мкТл

[40]. При 15-минутном воздействии ПеМП частотой 60 Гц и индукцией 0,1 мкТл этот эффект выражен менее, чем при 8-недельном облучении сибирских хомячков ПеМП тех же параметров [31]. После прекращения воздействий ПеМП отмечается восстановление показателей функционального состояния эпифиза, т.е. изменения являются обратимыми.

Выяснено также, что эффективность по-разному поляризованного поля неодинакова. Циркулярно поляризованное ПеМП частотой 50 Гц при индукции более 1,4 мкТл [11] снижало уровень мелатонина в плазме и эпифизе крыс. Эллиптически поляризованное поле с отношением 4 : 1 главной оси к меньшей не влияло на эти показатели ни при 1,4 мкТл, ни при 7 мкТл. Однако при изменении соотношения осей на 2 : 1 наблюдалось снижение концентрации мелатонина при индукции 7 мкТл. Линейно поляризованное поле индукцией 1 мкТл не влияло на содержание мелатонина ни при вертикальной, ни при горизонтальной ориентации [12]. Но при индукции 5 мкТл наблюдалось снижение концентрации мелатонина в плазме [13] при тех же параметрах поляризации.

Обнаружено, что изменение активности эпифиза под влиянием ПеМП зависит от направления вектора ПеМП относительно статического поля. Эффект ПеМП более выражен, когда статическая компонента МП находится под прямым углом к переменной [51]. Как видно, снижение функциональной активности эпифиза под влиянием ПеМП сложным образом зависит от параметров поля.

Выяснено также, что чувствительность эпифиза к ПеМП зависит от свойств биологического объекта. Обнаружена более высокая чувствительность к ПеМП эпифиза старых (по возрасту) животных, чем молодых [6]. Лишь песчанки-альбиносы, но не пигментированные особи того же самого вида, демонстрируют магниточувствительность эпифиза в виде снижения ночного пика мелатонина [15], т.е. снижение пигментации увеличивает чувствительность не только к свету, но и к МП [63]. Эти результаты подтверждены в опытах на крысах-альбиносах, которые оказались чувствительными и к действию ПеМП частотой 10 Гц при индукции 0,03 мТл [8].

Известно, что к действию ПеМП различных характеристик более чувствительны животные и люди с какими-либо нарушениями функционального состояния [64]. Этот факт также может быть объяснен вовлечением эпифиза в реакцию организма на действие ПеМП. Установлено, что эпифизарные влияния отчетливо проявляются лишь при необходимости коррекции состояния, тогда как в физиологических условиях эти влияния имеют относительное значение [36]. Об этом свидетельствуют результаты изучения роли пинеальной железы в развитии экстремальных ситуаций



(стресс, психическая патология). В данных условиях отчетливо проявляется адаптивная роль эпифиза, который может рассматриваться как основной элемент стресс-лимитирующей системы. Обнаруженная способность слабых ПеМП частотой 8 Гц лимитировать развитие стресс-реакции на действие различных стрессоров [64, 65] также может быть объяснена вовлечением в адаптивную реакцию эпифиза.

Чувствительность эпифиза к действию ПеМП неодинакова в различные фазы суточного фотопериода. В начале темновой фазы и в течение светлой фазы эпифиз не чувствителен к действию МП [21]. Тем не менее была обнаружена депрессия мелатонина и под влиянием дневного воздействия пульсирующего ПеМП частотой 60 Гц при индукции 0,1 мТл [6]. Авторы работы [49] также подчеркивают зависимость эффективности ПеМП от фазы свет-темнота. Таким образом, супрессия мелатонина в эпифизе под влиянием ПеМП зависит от исходного функционального состояния организма.

Изучение изменения уровня гормона в плазме и моче под влиянием ПеМП приводит к более далеко идущим выводам. Было показано, что мелатонин в сыворотке крови под воздействием ПеМП больше изменяется в дневные часы, но не ночью [11]. В более поздней работе этих авторов было выяснено, что эпифизарный мелатонин изменялся в образцах, взятых в 12:00 ч, но не в 24:00 ч [2]. Показано также, что у водителей локомотивов, подвергавшихся действию ПеМП частотой 16,7 Гц при индукции 20 мкТл снижение экскреции метаболитов мелатонина наблюдалось в дневное время по сравнению с контролем при неизменной ночной экскреции [41]. Эти данные позволили предположить, что в основе действия ПеМП на эпифиз лежит способность поля не снижать уровень мелатонина в эпифизе, а сдвигать акрофазу его циркадианного ритма. Действительно, в экспериментах на сибирских хомячках выяснено, что под влиянием ПеМП акрофаза "задерживается" на 4 ч и, следовательно, секреция мелатонина в ночное время серьезно нарушается [6]. Эти результаты имеют место также для ЭП. В опытах [2] крысы с момента рождения в течение 23 дней содержались в ЭП частотой 60 Гц до 20 ч в день, что приводило к сдвигу акрофазы на 1,4 ч к более поздним часам.

Выявленные изменения соответствуют "кривой фазовой реакции" [66]: воздействие ярким светом или магнитным стимулом в фазу поздней ночи продвигает к поздним часам акрофазу циркадианного ритма, в то время как воздействие в период начала ночи (поздний вечер) задерживает акрофазу [67–69]. Из этих данных может следовать вывод о том, что основное действие ПеМП заключается в нарушении циркадианной ритмики функциональной активности эпифиза. Это предположение подтверждается многочисленными сведениями

о том, что ПеМП способно изменять временную организацию различных физиологических систем, контролируемых эпифизом. Подобное явление обнаружено как при геомагнитных возмущениях, так и при воздействии слабых искусственных ПеМП СНЧ [70].

Нами, в частности, рассмотрена способность ПеМП частотой 8 Гц при индукции 5 мкТл изменять инфрадианную ритмику различных физиологических характеристик [71, 72]. Как показали эти исследования, изменения временной организации под влиянием ПеМП заключаются в амплитудно-фазовых перестройках, развитии десинхроноза. Аналогичные изменения выявлены и при исследовании влияния ПеМП частотой 8 Гц на циркадианную ритмику различных показателей [73]. Эти данные приобретают особое значение в свете представлений о том, что датчиком времени в широком диапазоне периодов могут выступать слабые ПеМП СНЧ естественного происхождения [70]. Экспериментальные данные также показывают, что датчиком времени для циркадианной ритмики может являться ЭП частотой 10 Гц и напряженностью 2,5 мВ/м [74]. Показано также, что датчиком времени для многодневных, сезонных, около-годовых ритмов активности эпифиза может являться горизонтальная [75] или вертикальная [76] компоненты геомагнитного поля.

Информация об изменении электромагнитного фона может восприниматься эпифизом непосредственно или передаваться ему от сетчатки, которая реагирует на действие излучения не только оптического диапазона. Достаточно хорошо изучено явление магнитофосфена. Определено пороговое значение индукции ПеМП частотой 10...45 Гц, равное 15 мТл [77], а также минимальное время воздействия ПеМП, необходимое для возникновения магнитофосфена; зарегистрированы изменения потенциалов действия нейронов сетчатки при действии ПеМП частотой 5...100 Гц и индукцией 50 мТл [78]. Эти данные свидетельствуют о том, что действие МП на эпифиз, возможно, опосредовано фоторецепторами. Высказано предположение о том, что существует синергетическая взаимосвязь между светом и МП, поскольку для осуществления действия МП на эпифиз необходима стимуляция светом зрительных нервов [18, 63]. Обнаружено также, что для возникновения магнитофосфена порог МП в 2-3 раза выше в темной комнате, чем в светлой [79]. Следует заметить, что существует зависимость от длины воздействующего света ощущения магнитного компаса у птиц, земноводных и насекомых [80]. Авторы [51] также подчеркивают, что действие ПеМП СНЧ на анальгезирующий эффект опиоидов существенно ослабляется в темноте. Из этих данных следуют рекомендации проводить воздействие МП в ночное время при красном освещении, что и выполняется в ряде исследований



[21]. Таким образом, полученные в настоящее время данные свидетельствуют о том, что сетчатка опосредует действие ПемП на эпифиз.

Взаимосвязь сетчатки с эпифизом осуществляют многочисленные структуры ЦНС, включая ретиногипоталамический тракт, супрахиазматическое ядро (СХЯ) и т.д. [81]. Поэтому при действии ПемП, так же как и при действии света, следует ожидать изменения функциональной активности этих структур. Действительно, недавно было обнаружено увеличение активности нейронов СХЯ при действии ПемП частотой 5...30 Гц [82]. Переменное МП частотой менее 5 и более 30 Гц не влияли на нейрональную активность СХЯ. Известно, что СХЯ является основным водителем циркадианного ритма [83]. Поэтому эти данные, так же как и представления о способности ПемП выступать в роли пейсмекеров, подтверждают предположение о том, что в механизмах физиологического действия ПемП важную роль играет изменение временной организации физиологических систем.

Уменьшение концентрации норадреналина [2, 84] и *ц*-АМФ [14] в железе под влиянием МП может свидетельствовать о снижении постсинаптической активации β -адренорецепторов пинеалцитов.

Однако следует согласиться с авторами [18], считающими, что кроме изменения функциональной активности сетчатки под влиянием ПемП существует и множество других способов, включая мембрану пинеалцитов, посредством которых может осуществляться прямое действие ПемП на эпифиз.

О непосредственном действии ПемП на эпифиз свидетельствуют многочисленные эксперименты с культурой тканей [6, 9, 60] и *in vitro* [30, 85]. Таким образом, в механизмах физиологического действия ПемП важную роль играет эпифиз.

Как показали результаты исследований, ПемП может осуществлять влияние и на эпифизэктомированных животных [86]. В этих опытах было показано, что эпифизэктомия сопровождается выраженным изменением инфрадианной ритмики, в частности, сукцинат- и α -глицерофосфатдегидрогеназ в лимфоцитах крови. Спектры мощности вариаций этих показателей характеризовались выраженным снижением амплитуды выделенных

ритмов, при этом обнаруживалось значительное смещение их фаз и резкое нарушение временной упорядоченности, т.е. развитие десинхроноза.

При воздействии ПемП частотой 8 Гц и индукцией 5 мкТл на эпифизэктомированных животных обнаружено восстановление инфрадианной ритмики каждой дегидрогеназы, что свидетельствует о том, что кроме эпифиза существуют и другие магниторецепторные структуры. Однако восстановления внутренней упорядоченности изменения активности дегидрогеназ не отмечалось. Эти данные можно расценить, как указание на то, что эпифиз играет важную роль в синхронизации различных колебательных процессов и принимает участие в реализации магнитобиологических воздействий.

С точки зрения мультиосцилляторной теории биоритмов ритмическая деятельность сложных организмов основана на согласованной работе многих вторичных осцилляторов. По-видимому, не только СХЯ и эпифиз являются пейсмекерами. Вопрос локализации и структуры клеточных осцилляторов остается открытым. Можно высказать предположение о том, что такими осцилляторами могут быть многочисленные клетки, способные синтезировать мелатонин и серотонин. Такими элементами, широко распространенными в организме, являются апудоциты, совокупность которых образует APUD-систему [46, 47]. В физиологических условиях существует определенная синхронность в работе всех элементов APUD-системы, основанная на принципе антагонистической регуляции функций. Высказанное предположение подтверждает обнаруженная чувствительность некоторых из элементов APUD-системы к действию слабых ПемП различных характеристик. В частности, описаны изменения тучных клеток при действии ПемП частотой 0,03...8 Гц [87].

Заключение

Таким образом, в настоящее время накоплены убедительные данные, свидетельствующие о высокой чувствительности эпифиза к ПемП. Но, по-видимому, пинеальная железа не является единственным органом, обладающим такими свойствами. Дальнейшие исследования позволяют расширить и уточнить изложенные представления.

Литература

1. Wilson B.W., Anderson L.E., Hilton D.J., Phillips R.D. Chronic exposure to 60 Hz electric fields: Effects on pineal function in the rat. — *Bioelectromagnetics*, 1981, №2.
2. Reiter R.J., Anderson L.E., Buschbom R.L., Wilson B.W. Reduction of the nocturnal rise in pineal melatonin levels in rats exposed to 60-Hz electric fields in utero and for 23 days after birth. — *Life Sci.*, 1988, v.42.
3. Vollrath L., Spessert R., Kratzsch T. et al. No short-term effects of high-frequency EMF on the mammalian pineal gland. — *Bioelectromagnetics*, 1997, v.18.
4. Bakos J., Nagy N., Thuroczy G., Szabo L.D. Sinusoidal 50 Hz, 500 μ T magnetic field has no acute effect on urinary 6-sulphatoxy-melatonin in Wistar rats. — *Bioelectromagnetics*, 1995, v.16.



5. Bakos J., Nagy N., Thuroczy G., Szabo L.D. Urinary 6-sulphatoxymelatonin excretion is increased in rats after 24 hours of exposure to vertical 50 Hz, 100 μ T magnetic field. — Bioelectromagnetics, 1997, v.18.
6. Yellon S.M. Acute magnetic field exposure effects on the melatonin rhythm in the pineal gland and circulation of the adult Djungarian hamster. — J. Pineal Res, 1994, v.16.
7. McCormick D.L., Cahill M.A., Harder J.B. Pineal function assessment in F344 rats and B6C3F1 mice exposed to 60 Hz magnetic fields. — Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, Denmark, 1994.
8. Jentsch A., Lehmann M., Schone E. et al. Weak magnetic fields change extinction of a conditioned reaction and daytime melatonin levels in the rats. — Neurosci. Lett, 1993, v.157.
9. Harland J.D., Liburdy R.P. Environmental magnetic fields inhibit the antiproliferative action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line. — Bioelectromagnetics, 1997, v.18.
10. Graham C., Cook M.R., Riffle W. Human melatonin during continuous magnetic field exposure. — Bioelectromagnetics, 1996, v.18.
11. Kato M., Honma K., Shigemitsu T., Shiga Y. Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats. — Bioelectromagnetics, 1993, v.14.
12. Kato M., Honma K., Shigemitsu T., Shiga Y. Recovery of nocturnal melatonin concentration takes place within one week following cessation of 50 Hz circularly polarized magnetic field exposure for six weeks (brief communication). — Bioelectromagnetics, 1994, v.15.
13. Kato M., Shigemitsu T., Yamazaki K et al. 50-Hz magnetic field exposure and melatonin in the rats. — 2nd World Congr. for Electricity and Magnetism in Biol. And Med.: Abstract book. — Bologna, Italy, 1997.
14. Rudolph K., Wirz-Justice A., Krauchi K., Feer H. Static magnetic fields decrease nocturnal pineal cAMP in the rat. — Brain. Res, 1988, v.446.
15. Stehle J., Reuss S., Schroder H. et al. Magnetic field effects on pineal NAT activity and melatonin content in the gerbit — pole of pigmentation and sex. — Physiol. Behav, 1988, v.44.
16. Lerchl A., Nonaka K.O., Stokkan K.A., Reiter R.J. Marked rapid alterations in nocturnal pineal serotonin metabolism in mice and rats exposed to weak intermittent magnetic fields. — Biochem. Biophys. Res. Commun, 1990, v.169.
17. Lerchl A., Nonaka K.O., Reiter R.J. Pineal gland "magnetosensitivity" to static magnetic fields is a consequence of induced electric currents (eddy currents). — J. Pineal Res, 1991, v.10.
18. Olcese J., Reuss S., Vollrath L. Evidence for the involvement of the visual system in mediating magnetic field effects on pineal melatonin synthesis in the rat. — Brain Res, 1985, v.333.
19. Khoory R. Compensation of the natural magnetic field does not alter N-acetyltransferase activity and melatonin content of rat pineal gland. — Neurosci. Lett, 1987, v.76.
20. Welker H.A., Semm P., Willig R.P. et al. Effects of an artificial magnetic field on serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland. — Exp. Brain Res, 1983, v.50.
21. Yaga K., Reiter R.J., Manchester L.C. et al. Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod. — Brain Res. Bull, 1993, v.30.
22. LaPorte R., Kus L., Wisniewski R.A. et al. Magnetic resonance imaging (MRI) effects on rat pineal neuroendocrine function. — Brain Res, 1990, v.506.
23. Reuss S., Olcese J., Vollrath L. et al. Lack of effect of NMR-strength magnetic fields on rat pineal melatonin synthesis. — IRCS Med. Sci, 1985, v.13.
24. Prato F.S., Ossenkopp K.-P., Kavaliers M. et al. Effects of exposure to magnetic resonance imaging on nocturnal serum melatonin and other hormone levels in adult males: preliminary findings. — J. Bioelectr, 1989, v.7.
25. Dubbels R. Possible effects of the magnetic field in the Antarctic on urinary melatonin in man. — Polarstern Abstracts. G. Hempel, ed. Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 1987, v.1.
26. Semm P., Schneider T., Vollrath L. Effects of Earth-strength magnetic field on electrical activity of pineal cells. — Nature, 1980, v.288.
27. Semm P. Neurobiological investigations of the magnetic sensitivity of the pineal gland in rodents and pigeons. — Comp. Biochem. Physiol, 1983, v.76A.
28. Bardasora J.L., Meyer A.J., Picazo L. Ultrastructure of pineal cells of the homing pigeon *Columba Bivia* in magnetic fields (first trials). — J. Hirnforsch, 1985, v.26, №4.
29. Cremer-Bartels G., Krause K., Kuchle H.J. Influence of low magnetic-field-strength variations of the retina and pineal gland of quails and humans. — Graefe's Arch. Exp. Ophthalmol, 1983, v.220.
30. Cremer-Bartels G., Krause K., Mitoskas G., Brodersen D. Magnetic field of the Earth as additional Zeitgeber for endogenous rhythms? — Naturwissenschaften, 1984, v.71.
31. Matt K.S., Wilson B.W., Morris J.E. et al. The effect of EMF exposure on neuroendocrine mechanisms of environmental integration. — Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, Denmark, 1994.
32. David E., Reibenweber J. How does melatonin and how do others bioparameters react in weak electromagnetic fields in mammals? — Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society. — Copenhagen, Denmark, 1994.
33. Burchard J.F., Nguyen D.H., Block E., Richard L. Effects of 60 Hz electric and magnetic fields on nocturnal melatonin in dairy cattle. Part 1. — The Ann. Rev. of Research on Biol. Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity. USA: San Diego, CA, 1997.

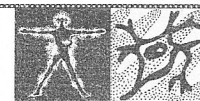


34. Lee J.M., Stormshak F., Thompson J.M. et al. Melatonin and puberty in female lambs exposed to EMF: A replicate study. — *Bioelectromagnetics*, 1995, v.16.
35. Reiter R.J. The mammalian pineal gland: structure and function. — *Am. J. Anat.*, 1981, v.162.
36. Арушанян Э.Б. Эпифиз и организация поведения. — *Успехи физиол. наук*, 1991, т.22, №4.
37. Karasek M., Vollrath L. "Synaptic" ribbons and spherules of the rat pineal gland: Day/night changes in vitro? — *Exp. Brain. Res.*, 1982, v.46.
38. Reuss S., Olcese J. Magnetic field effects on the rat pineal gland: role of retinal activation by light. — *Neurosci. Lett.*, 1986, v.64.
39. Martinez Soriano F., Gimenez Gonzalez M., Armanaza E., Ruiz Torner A. Pineal "synaptic ribbons" and serum melatonin levels in the rat following the pulse action of 52-Gs (50-Hz) magnetic fields: An evolutive analysis over 21 days. — *Acta Anat.*, 1992, v.143.
40. Loscher W., Wahnschaffe U., Mevissen M. et al. Lerchl A., Stamm A. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. — *Oncology*, 1994, v.51.
41. Pflugler D.H., Minder C.E. Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. — *J. Pineal Res.*, 1996, v.21.
42. Burch J.B., Reif J.S., Pitrat C.A. et al. Cellular telephone use and excretion of a urinary malatonin metabolite. — *The Ann. Rev. of Research on Biol. Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity. USA: San Diego, CA*, 1997.
43. Bartsch C., Bartsch H., Jain A.K. et al. Urinary melatonin levels in human breast cancer patients. — *J. Neural. Transm.*, 1981, v.52.
44. Wilson B.W., Chess E.K., Anderson L.E. 60 Hz electric field effects on pineal melatonin rhythms: Time course for onset and recovery. — *Bioelectromagnetics*, 1986, v.7, №2.
45. Reif J.S., Burch J.B. The effects of exposure to magnetic fields on melatonin in humans. — *2nd World Congr. for Electricity and Magnetism in Biol. And Med.: Abstract book. Bologna, Italy*, 1997.
46. Pearse A.G.E. The diffuse endocrine (paracrine) system: Feyrter's concept and its modern history. — *Verh. Dtsch Ges. Pathol.*, 1977, v.B.61, №1.
47. Кветной И.М. АПУД-система (структурно-функциональная организация, биологическое значение в норме и патологии). — *Успехи физиол. наук*, 1987, №1.
48. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. — Киев: Наук. думка, 1986.
49. Kavaliers M., Hirst M., Teskey G. C. Ageing, opioid analgesia and the pineal gland. — *Life Sci*, 1983, v.32.
50. Cieslar G., Mrowiec J., Sieron A., Plech A. The effect of variable magnetic field on pain perception in rats. — *Transactions 2nd Congr. of the Europ. Bioelectromag. Association.* — Slovenia, Ljubljana, 1993.
51. Prato F.S., Kavaliers M. Extremely low frequency magnetic fields alter opioid function: investigations into the detection mechanism. — *2nd World Congr. for Electricity and Magnetism in Biol. And Med.: Abstract book.* — Bologna, Italy, 1997.
52. Бродовская З.И., Королев В.А., Нелюбина Э.Г. Влияние слабых ЭМП на некоторые показатели метаболизма лейкоцитов и воспроизводительную функцию самок млекопитающих. — *Влияние электромагнитных полей на биологические объекты: Тр. Крымского мед. ин-та.* — Харьков: Харьковский мед. ин-т, 1973.
53. Суслова Г.Ф., Петричук С.В., Беневоленский В.Н. Влияние геомагнитных факторов на физическое развитие и патологию человека и животных. — *Хронобиология сердечно-сосудистой системы: Сб. научн. трудов.* — М.: Изд-во УДН, 1988.
54. Науменко Е.В., Попова Н.К. Серотонин и мелатонин в регуляции эндокринной системы. — Новосибирск: Наука, 1975.
55. Maestroni G. J. M. The immunoneuroendocrine role of melatonin. — *J. Pineal Res.*, 1993, v.14.
56. Blask D.E. The pineal: an oncostatic gland? — *The pineal gland. R.J. Reiter, ed.* — New York: Raven Press, 1984.
57. Maestroni G. J. M., Conti A., Pierpaoli W. Pineal melatonin: Its fundamental immunoregulatory role in aging and cancer. — *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1988, v.521.
58. Hill S.M., Blask D.E. Effects of pineal hormone melatonin on the proliferation and morphological characteristics of human breast cancer cells (MCF-7) in culture. — *Cancer Res.*, 1988, v.48.
59. Tamarkin L., Cohen M., Roselle D. et al. Melatonin inhibition and pinealectomy enhancement of 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary tumors in the rat. — *Cancer Res.*, 1981, v.41.
60. Ubeda A., Trillo M.A., House D.E., Blackman C.F. Melatonin and magnetic fields affect gap junctional intercellular communications: a possible mechanism to influence neoplastic processes. — *Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, Denmark*, 1994.
61. Liburdy R.P., Harland J.D., Heffernan C. ELF inhibition of melatonin's natural oncostatic action on MCF-7 cells: 60 Hz dose threshold determination. — *Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, Denmark*, 1994.
62. Selmaoui B., Touitou Y. Sinusoidal 50-Hz magnetic fields depress rat pineal NAT activity and serum melatonin, role of duration and intensity of exposure. — *Life Sci*, 1995, v.57.
63. Olcese J., Reuss S. Magnetic field effects on pineal gland melatonin synthesis; comparative studies on albino and pigmented rodents. — *Brain Res*, 1986, v.369.



64. Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. — Киев: Наук. думка, 1992.
65. Жукова Г.В., Евстратова О.Ф., Бартенева Т.А., Мордань Т.А. Об изменениях в эпифизе и тимусе при действии переменного магнитного поля малой индукции. — Тез. I Междунар. конгр. "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине". — Санкт-Петербург, 1997.
66. Moore-Ede M.C., Sulzman F.M., Fuller C.A. The time that clocks us. — Cambridge, Commonwealth Fund, 1982.
67. Lewy A.J., Sack R.A., Singer C.L. Chronobiology and neuropsychiatric disorders. — Psychopharmacol. Bull, 1984, v.20.
68. Sack R.L., Lewy A.J., Hoban T.M. Free-running melatonin rhythms in blind people: Phase shifts with melatonin and triazolam administration. — Temporal disorder in human oscillatory systems. U. Rensing, U. van der Heiden, M.C. Mackey, eds. Springer-Verlag, Heidelberg, 1987.
69. Arendt J., Bojkowski C., Franey C., Wright J. Immunoassay of 6-Hydroxymelatonin sulfate in human plasma and urine: abolition of the urinary 24-hour rhythm with atenolol. — J. Clin. Endocrinol. Metab, 1985, v.60.
70. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. и др. — Космос и биологические ритмы. — Симферополь, 1995.
71. Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Малыгина В.И. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфранианную ритмику симпатoadреналовой системы. — Биофизика, 1992, v.37, №4.
72. Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В., Камынина И.Б., Насилевич В.А. Влияние слабых переменных магнитных полей на инфранианную ритмику функциональной активности лейкоцитов крови крыс. — Биофизика, 1996, v.41, №4.
73. Мартынюк В.С. — Биофизика, 1992, v.37, № 4.
74. Wever R.A. Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies. — Int. J. Biometeorol, 1973, v.17, №3.
75. Bartsch H., Bartsch C., Mecke D. et al. Seasonality of pineal melatonin production in the rat: possible synchronization by the geomagnetic field. — Chronobiol. Intern, 1994, v.11, №1.
76. Bergiannaki J.D., Paparrigopoulos T.J., Stefanis C.N. Seasonal pattern of melatonin excretion in humans — relationship to daylength variation rate and geomagnetic-field fluctuations. — Experientia, 1996, v.52, №3.
77. Lovsund P., Oberg P.A., Nilsson S.E.G. Magneto- and electrophosphores: a comparative study. — Med. Biol. Eng. Comput, 1980, v.18, №6.
78. Silny J. The influence threshold of the time varying magnetic field on the human organism. — Proc. Simp. Biological Effects of static and extremely low frequency magnetic field, BDA Schriften. — Munich: Med. Verlag, 1986.
79. Bernhardt J.H. Evaluation of human exposure to low frequency fields. — The impact of proposed radiofrequency radiation standards on military operations, proceedings of a NATO workshop. 92200 Neuilly s/S, France, AGARD, AGARD-LS-138, 1985.
80. Deutschlander M.E., Phillips J.B., Borland S.C. The role of the pineal in the geomagnetic compass sense of the eastern red-spotted newt, *Notophthalmus viridescens*. — The Ann. Rev. of Research on Biol. Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity. — USA: San Diego, CA, 1997.
81. Теппермен Дж., Теппермен Х. Физиология обмена веществ и эндокринной системы. — М.: Мир, 1989.
82. Hiwaki O. The effect of extremely low frequency magnetic field on the neuronal activity in the supra-chiasmatic nucleus of the rat. — 2nd World Congr. for Electricity and Magnetism in Biol. And Med.: Abstract book. — Bologna, Italy, 1997.
83. Ашофф Ю. Биологические ритмы. — М.: Мир, 1984.
84. Craft C.M., Morgan W.W., Reiter R.J. 24-Hour changes in catecholamine synthesis in rat and hamster pineal glands. — Neuroendocrinology, 1984, v.38.
85. Leung F.C., Quesenberry R.D., Schreckhise R.W. Effects of magnetic fields on chicken pineal melatonin metabolism in vitro. — Proc. 16th Ann. Meet. of the Bioelectromagnetics Society, Copenhagen, Denmark, 1994.
86. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфранианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомизированных крыс. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Симферополь, 1995.
87. Михайлов А.В. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипоксии. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Симферополь, 1986.
88. Доева А.Н., Хетагурова Ю.А., Шойгу И.А., Калабеков А.Л. Изменения активности катехоламинов тучных клеток под действием электромагнитных полей инфранизких частот. — Тез. I Междунар. конгр. "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине". — Санкт-Петербург, 1997.

Поступила 20 мая 1998 г.



Новые физиологические подходы к оценке КВЧ-воздействия на биологические объекты

И.В.Родштат

Предметно аргументируется актуальность трех новых клинико-физиологических направлений, возникших из традиционной ММ-терапии (КВЧ-терапии): первичной или биофизической рецепции, связанной с активностью внеклеточного вещества (коллагена) и внутриклеточных белков (белков теплового шока); эффектов и механизмов КВЧ-воздействия на аксиальные структуры тела, имеющих отношение к непосредственному выживанию человека (реанимационные точки и зоны); эффектов и механизмов КВЧ-воздействия на латеральные структуры тела (область крупных суставов), определяющих высокую курательность больных с особыми состояниями сознания, а именно больных с фантомными синдромами и предположительно больных с вегетативными состояниями.

It has scrutinized the supplementary reading of physiological conception of ENF-therapy. In particular, it was discussed the role of proteins of thermal shock with molecular weight 90 kDa. It has scrutinized the laterality of effects of extremely high frequency modality and the axial phenomena. It has discussed mechanisms of extremely high frequency modality on middle regions of body. The discussion conducted with calculation of existly ideas about the points of reanimation and the points of lethal. Discussion of the mechanism of the recovery after vegetative condition and phantom effects.

Введение

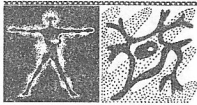
Начнем статью с небольшого предисловия. Дело в том, что КВЧ-воздействие, по-видимому, не является специфическим лечебным фактором, а его терапевтические эффекты обусловлены рецепцией ММ-волн низкой интенсивности отдельными клетками и соответственно тканями (биохимический вариант) либо целым организмом (сенсорный вариант). Согласно физиологической концепции, сформулированной в 1991 г. [1], терапевтическим коррелятом биохимической рецепции ММ-волн является выброс в тканевую жидкость и кровеносное русло физиологически активных веществ, а по существу, эндогенных лекарств, среди которых ключевую роль приобретают α_2 -макроглобулин или второй по значимости фактор антитромбинового резерва, кортикостероиды или мощные адаптивные гормоны, соматостатин или эффективный ингибитор секреции слизистых. Существенную роль могут играть также гепарин или эндогенный антикоагулянт и нейротензин или эндогенный нейроплегик. Далее, в соответствии с физиологической концепцией, терапевтическим коррелятом сенсорной рецепции является адекватное соотношение микроциркуляции и метаболизма головного мозга, реализуемое через активность норадренергических нейронов голубого пятна. Другим важным звеном в рефлекторной дуге при сенсорной рецепции ММ-волн низкой интенсивности являются так называемые МИФ-нейроны (малые интенсивно флуоресцирующие), расположенные вне мозга в вегетативных ганглиях и определяющие существенное повышение адреналина и норадреналина при КВЧ-воздействии в крови и надпочечниках. Начинается же рефлекторная дуга сенсорной рецепции (и, соответственно, лечебного воздействия) предположительно в тельцах Руффини, обладающих спонтанной актив-



**Игорь Вениаминович
Родштат** —

д. м. н., вед. н. с. ИРЭ РАН
(Москва).

Научные интересы:
проблемы электромагнитобиологии,
нейрокомпьютинга
и сверхчувственного восприятия



ностью, которые интегрально функционируют как типичные пьезоэлектрики. Чувствительность к КВЧ-воздействию у телец Руффини связана с электретными свойствами коллагена, в свою очередь, обусловленными фракцией связанной воды коллагена.

Сегодня мы в состоянии конкретизировать и дополнить ряд положений физиологической концепции.

Феномен первичной или биофизической рецепции

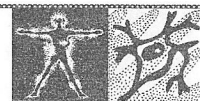
Представители точных наук вкладывают в понятие рецепции, по сути физиологическое, совсем иной, по существу, биофизический смысл, называя этот вариант первичной рецепцией, поэтому, несомненно, важно навести устойчивые мосты между процессами так называемой первичной, или биофизической по смыслу, рецепции и процессами физиологической рецепции, реализуемой, как уже указывалось, биохимическим и сенсорным вариантами. Суть взаимосвязи биофизической и сенсорной рецепции лучше всего рассмотреть на примере рецепторной активности телец Руффини. Последние обычно рассматриваются физиологами в качестве специализированных механорецепторов, а именно датчиков интенсивности. Однако на спонтанную активность телец Руффини существенное влияние оказывает изменение температуры, поэтому тельца Руффини относят к медленноадаптирующимся механохолодовым рецепторам.

Тельца Руффини являются наиболее подходящими образованиями для рецепции крайне высокочастотных электромагнитных колебаний (30...300 ГГц) низкой интенсивности, используемых в качестве КВЧ-терапии. Дело в том, что тельца Руффини функционируют как своеобразные пьезоэлектрические устройства, поскольку в них между нервной терминалью и коллагеновым волокном нет какой-либо иной ткани. Коллагеновое же волокно помимо пьезоэлектрических обладает и электретными свойствами, за которые, в свою очередь, ответственна связанная (структурированная коллагеном) вода.

Гидратированная ткань, как известно, интенсивно поглощает крайне высокочастотные электромагнитные колебания. Таким образом, если связанная вода поглощает крайне высокочастотные электромагнитные колебания низкой интенсивности, то это должно приводить к изменению электретного состояния коллагена. Далее, по причине корреляционного соотношения электретных и пьезоэлектрических свойств коллагена возникает его механическая деформация в результате обратного пьезоэффекта (либо электрострикции), обусловленного переориентацией диполей четверки атомов пептид-

ной цепи между аминокислотными остатками глицина и пролина. Ограничительный фактор в виде порога аксона здесь не столь важен, поскольку тельца Руффини обладают фоновой активностью. В такой ситуации рецепция возможна при изменении частоты спонтанных разрядов соответствующего нейрона путем усиления или ослабления деполаризационных влияний на его чувствительное волокно. Расчеты академика РАЕН Д.С.Чернавского, любезно сделанные по нашей просьбе, показали, что такой, гипотетический пока, механизм возбуждения сенсорного рецептора работоспособен. Кстати, тельца Руффини расположены в коже на глубине 300 мкм от ее поверхности, т.е. вполне доступны для крайне высокочастотных электромагнитных колебаний низкой интенсивности.

Взаимосвязь же биохимической и первичной, т.е. биофизической, рецепции лучше рассмотреть на другом примере, привлекая для этого представления молекулярной биологии о белках теплового шока [2]. Суть эффекта, обусловленного белками теплового шока, состоит в следующем. При нагревании клеток млекопитающих в культуре ткани до 43 °С они начинают синтезировать в большом количестве белки молекулярной массой 25, 70 и 90 кДа. Указанные белки теплового шока помогают переводить в раствор и вновь сворачивать денатурированные или неправильно свернутые белки. Важно подчеркнуть, что белки молекулярной массой 90 кДа регулируют функцию белков-рецепторов стероидных гормонов, связываясь с их неактивными формами. Средневзвешенная температура кожи человека, т.е. сумма частных от деления температуры тех или иных участков кожной поверхности на долю этих участков в общей площади кожного покрова, составляет 31...33 °С. В согревающей среде температура кожи, по данным [3], возрастает до 33...35 °С. В стационарном режиме КВЧ-излучение низкой интенсивности (порядка 1...10 мВт/см²) может привести к небольшому нагреванию облучаемого участка (на 0,1...1 °С). Однако имеются локальные области, "горячие точки", обусловленные интерференцией ММ-волн. Размеры "горячих точек" — порядка 1...2 мм, а их расположение на коже очень сильно зависит от частоты излучения, существенно сдвигаясь при изменении частоты излучения на доли процента. Эти факторы и определяют эффект теплового массажа, который был впервые описан Д.С.Чернавским [4], т.е. видим, что при крайне высокочастотном электромагнитном воздействии низкой интенсивности на кожу здорового или больного человека имеются определенные предпосылки для увеличения белков теплового шока. А в клетках кожи человека, как известно, обнаружены белки-рецепторы стероидных гормонов.



Аксиальные структуры, их функциональное значение и особенности эффектов КВЧ-воздействия на срединные области тела

Заметим, что согласно данным [5] ММ-волны низкой интенсивности при облучении левой половины тела оказывают модулирующее влияние на иммунореактивные ткани, вызывая достоверное увеличение популяции долгоживущих лимфоцитов, а те, в свою очередь, с помощью лимфокинов, т.е. медиаторов иммунной системы, приводят к изменению активности норадреналина в срединных структурах головного мозга, в частности в гипоталамусе. Увеличение активности некоторых медиаторов в рециркулирующих лимфоцитах безотносительно к КВЧ-воздействию повышает выживаемость больных инсультами в неврологической клинике [6]. Миллиметровые волны низкой интенсивности при облучении правой половины тела, в частности правого плечевого сустава, оказывают модулирующее влияние на микроциркуляторное русло обоих полушарий большого мозга, приводя при инсультах к исчезновению из периферической крови фибриногена В и комплексных соединений мономеров фибрина, т.е. лабораторных признаков диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови.

Переходя к аксиальным, или осевым, структурам, заметим, что первичной аксиальной структурой в теле (теле эмбриона) является хорда или предшественница позвоночного столба. Образование хорды начинается после завершения гастрюляции (превращения однослойного зародыша позвоночных в трехслойный). В частности, один из участков среднего зародышевого листка, или мезодермы, специализируется, располагаясь вдоль центральной оси тела, и детерминирует разделение тела на две половины — правую и левую. На этом этапе хорда представляет собой тонкий клеточный тяж диаметром 80 мкм и над ней расположена эктодерма, или наружный зародышевый листок, а под ней — энтодерма, или внутренний зародышевый листок [7]. Мезодермальное происхождение имеют также рыхлая соединительная ткань, кости, хрящ, фиброзные ткани, внутренний слой кожи, или дерма, мочеполая и сердечно-сосудистая системы, включая сердце и клетки крови.

Хорошо известно, что на заднесрединном меридиане, выделяемом в классической иглорефлексотерапии, топография которого по большей части соотносится с позвоночником, расположены три акупунктурные точки реанимации из десяти известных [8]. IV точка заднесрединного меридиана расположена между остистыми отростками второго и третьего поясничных позвонков, и ей приписывают реанимационный эффект воздействия, реализуемый через механизмы головного мозга. Ее так и называют — *минь-мэнь*, или “врата жизни”. В

свою очередь, X точка заднесрединного меридиана расположена ниже остистого отростка шестого грудного позвонка, и ей приписывают реанимационный эффект воздействия, реализуемый через механизмы коры надпочечников, а также дополнительный выброс адреналина с повышением артериального давления. Далее, XIII точка заднесрединного меридиана расположена ниже остистого отростка первого грудного позвонка, и ей приписывают реанимационный эффект воздействия, реализуемый через выше указанные механизмы.

Однако на заднесрединном меридиане расположены не только три акупунктурные точки реанимации, но и четыре акупунктурные летальные точки из восьми известных, причем две из них локализованы на голове, а две соотносятся с позвоночником. А именно I точка заднесрединного меридиана расположена между верхушкой копчика и задним проходом, и ей приписывают летальный эффект воздействия, реализуемый через механизмы спинного мозга. В свою очередь, XV точка заднесрединного меридиана расположена между остистыми отростками первого и второго шейных позвонков, и ей приписывают летальный эффект воздействия, именуемый ударом кролика.

В отличие от заднесрединного меридиана переднесрединный меридиан топографически не соотносится с позвоночником, и на нем расположены только две акупунктурные точки, имеющие отношение к процессам непосредственного выживания. I точка переднесрединного меридиана расположена в центре промежности, т.е. между задним проходом и мошонкой у мужчин и задним проходом и задней лабиальной комиссурой у женщин. Ей приписывают летальный эффект воздействия, реализуемый через рефлекторные механизмы наружных гениталий и органов малого таза. Сложнее выглядит ситуация с XIV точкой переднесрединного меридиана, которая находится под мечевидным отростком грудины в подложечной области. Ей приписывают как летальный эффект воздействия, так одновременно и реанимационный, причем как тот, так и другой реализуются через механизмы солнечного сплетения и головного мозга.

Подводя промежуточный итог, выделим три важных обстоятельства:

- ✓ аксиальные структуры тела, по-видимому, имеют самое тесное отношение к процессам непосредственного выживания человека, так как топографически соотносятся с шестью летальными точками из восьми известных и с четырьмя точками реанимации из десяти известных;
- ✓ летальные точки количественно преобладают на вентральной поверхности тела и головы (две летальные точки заднесрединного меридиана из четырех расположены на лице), а реанимационные точки количественно преобладают на



дорзальной поверхности тела, имея в виду аксиальные структуры;

- ✓ реанимационная зона позвоночника соотносится с его тораколумбальным отделом, а две летальные зоны позвоночника разнесены по его топографическим полюсам, а именно к шейному и копчиковому отделам.

Возможно ли правдоподобно объяснить различную биологическую сущность дорзальных аксиальных структур (преобладание акупунктурных точек реанимации) и вентральных аксиальных структур (преобладание летальных акупунктурных точек)? В указанной связи упомянем известный в молекулярной биологии факт [7] о том, что вентральная поверхность ("брюшко будущего организма") соответствует месту проникновения сперматозоида в яйцеклетку. В результате влияния привносимой сперматозоидом centrosомы, т.е. субклеточной органеллы, связанной с формированием веретена деления, происходит вращение обогащенного актином наружного слоя цитоплазмы яйцеклетки по отношению к ее внутреннему содержимому на 30°. А это приводит к смещению анимального полюса кортекса, т.е. лишенной желтка части яйцеклетки, по отношению к анимальному полюсу внутреннего содержимого яйцеклетки в направлении будущей вентральной стороны.

Такого рода интересные и не менее сложные обстоятельства привлекли внимание в связи с практикой КВЧ-терапии. Лечебный эффект КВЧ-терапии при диссеминированном внутрисосудистом свертывании (ДВС) крови у инсультных больных наблюдался при облучении одного из плечевых суставов, т.е. при воздействии на латерализованную справа либо слева поверхность кожи [9]. Лечебный эффект был достоверным с нормализацией паракоагуляционных проб на волне 4,9 мм и имел тенденцию к достоверности на волне 7,1 мм. Лечебное же облучение на волне 5,6 мм оказалось неэффективным. Однако в данном случае облучалась XIII точка заднесрединного меридиана, или *тао-дао* — "дорога странствий". Уже упоминали, что XIII точка заднесрединного меридиана относится к числу реанимационных, а эффект воздействия реализуется через механизмы коры надпочечников и дополнительный выброс адреналина. Это оказалось бы весьма кстати, поскольку ДВС-синдром является облигатной формой процессов умирания. Тем более, что уже получен лечебный эффект КВЧ-терапии как в плане госпитальной выживаемости, так и в плане нормализации паракоагуляционных проб у больных с ДВС-синдромом при обширных и трансмуральных инфарктах миокарда [10]. Достоверный лечебный эффект в данном случае наблюдался при использовании излучения с длиной волны как 7,1, так и 5,6 мм. Однако при использовании последней лечебный

эффект существенно уступал по выраженности результатам. По-видимому, дело не только в длине лечебной волны. Ведь облучалась область мечевидного отростка, под которым находится XIV точка переднесрединного меридиана, а ей приписывают как реанимационный, так и летальный эффекты воздействия. Реализация эффектов воздействия в этом случае в отличие от реализации эффекта воздействия точки *тао-дао* происходит не гуморальным путем, а через нейрональные механизмы.

КВЧ-терапия необычных болезненных состояний человека

Болезненные эффекты, наблюдаемые у людей после ампутации руки (рук) и (или) ноги (ног), на врачебном жаргоне носят название *фантома ампутированных*. Суть феномена состоит в реальном и часто очень болезненном ощущении объективно отсутствующей конечности. В любом фантоме лучше всего представлены пальцы. На втором месте по выраженности стоят крупные суставы.

Кожа в области крупных суставов сильно гидратирована из-за складчатости дермального коллагена, большого содержания здесь протеогликанов, а также значительной подвижки физиологически активных веществ, в том числе гистамина, протенина и их ингибиторов, среди которых следует отметить α_2 -макроглобулин. Избыточно гидратированная ткань, как известно, особенно интенсивно поглощает ММ-волны, что послужило отправным моментом для использования области крупных суставов в качестве лечебной при КВЧ-терапии. В области крупных суставов концентрируются тельца Руффини, которые, по-видимому, являются наиболее подходящими сенсорными рецепторами для восприятия ММ-волн. Дело в том, что тельца Руффини функционируют как своеобразные пьезоэлектрические устройства, поскольку в них между нервной терминалью и коллагеновым волокном нет какой-либо иной ткани. Коллагеновое же волокно помимо пьезоэлектрических обладает и электретными свойствами, за которые, в свою очередь, ответственна связанная (структурированная) коллагеном вода. Важным фактором является также и то обстоятельство, что тельца Руффини характеризуются спонтанной активностью, а это снимает очень трудный вопрос о пороге аксона, актуальный из-за малой энергии кванта ММ-излучения. Ну и наконец, области крупных суставов совпадают в ряде случаев с зонами Захарьина—Геда и сегментарными точками акупунктуры, что обеспечивает адекватную адресацию лечебного воздействия в соответствующий больной орган. В области плечевых суставов, в частности, расположены зоны Захарьина—Геда для ряда органов грудной и брюшной полостей. Более того, вегетативно-рецепторная система плечевого сустава (и руки) проецируется



на IV—VII сегменты спинного мозга, откуда, в свою очередь, формируются вегетативно-эффекторные влияния на кровеносные сосуды вертебробазилярного бассейна.

Используя предложенные нами теоретические подходы и методические приемы, Н.В.Лян и С.Д.Воторопин из Онкологического научного центра Сибирского медицинского университета добились исчезновения фантомных болей у двух групп больных, не прибегая к наркотикам [11]. Первую группу составили 14 больных с фантомными болями после ампутации ноги на уровне голени или бедра. В этом случае КВЧ-воздействие проводилось на область тазобедренного сустава, но дополнялось иглорефлексотерапией аурикулярных точек и воздействием на активные зоны скальпа противоположной стороны. Вторую группу составили восемь больных с ампутацией руки на уровне предплечья или плеча. В этом случае КВЧ-воздействие проводилось на область плечевого сустава и дополнялось иглорефлексотерапией аурикулярных точек и воздействием на активные зоны скальпа противоположной стороны. Следует подчеркнуть, что использование для снятия фантомных болей рефлексотерапии в сочетании с анагетиками и анестетиками обычно оказывается малоуспешным, если не применять КВЧ-терапию.

Другим необычным болезненным состоянием, потенциально подходящим для КВЧ-терапии, является вегетативный статус. По данным [12], для состояния вегетативного статуса характерно сочетание полного отсутствия или слабой выраженности правополушарной асимметрии когерентности электроэнцефалограммы (ЭЭГ) со стабильным поддержанием сниженного уровня когерентности ЭЭГ, что отражает возможный нейрофизиологический механизм, в основу которого положена недостаточная для восстановления сознания и психической деятельности активация функциональной связи диэнцефальных структур с правым полушарием. В соответствии с полученными результатами предлагается использование различной афферентной стимуляции мозга для активации указанной функциональной связи в целях ускорения процесса восстановления сознания.

В [5] показано, что лечебное облучение левой половины тела ММ-волнами низкой интенсивности адресуется преимущественно в правую гемисферу головного мозга и сопровождается, по данным лабораторного эксперимента [13], увеличением популяции долгоживущих лимфоцитов в лимфоузлах облучаемой стороны, причем нарастание суммарной фосфатазной активности в митохондриях этих рециркулирующих малых лимфоцитов является благоприятным прогностическим моментом для больных, находящихся в терминальных состояниях [6]. Среди возможных механизмов влияния этих иммунокомпетентных клеток на мозг обсуж-

дается ингибиторное действие растворимых медиаторов, выделяемых лимфоцитами, которое, в частности, определяет снижение уровня норадреналина в гипоталамусе экспериментальных животных [14]. В свою очередь, хорошо известен экспериментальный факт о снижении уровня норадреналина в гипоталамусе лабораторных животных под влиянием КВЧ-облучения [15]. Следовательно, можно предположить, что КВЧ-модуляция активности головного мозга при облучении левой половины тела, в частности левого плечевого сустава, реализуется через нервные и гуморальные механизмы, причем в первом случае воздействие адресовано преимущественно в правую гемисферу, а во втором (при использовании гуморальных механизмов) — в гипоталамус. Таким образом, КВЧ-терапия может быть использована для активации функциональной связи диэнцефальных структур с правым полушарием и соответственно для выхода из вегетативного состояния.

Заключение

Возможна ли в обозримом будущем новая подвижка наших представлений о взаимодействии КВЧ с биологическими объектами? Естественно, что да, и эта подвижка, по-видимому, произойдет в следующем направлении. Сейчас клинически и экспериментально показано, а также теоретически осмыслено, что терапевтический эффект любого лечебного средства в среднем на 50 % обусловлен эффектами *стандартного* плацебо. Поскольку эффекты стандартного плацебо определяются существенной подвижкой ряда физиологически активных веществ (норадреналина, ацетилхолина, β -эндорфина, адренотропного и α -меланоцитстимулирующего гормонов) на уровне лимбической системы головного мозга, называемой также эмоциональным, или висцеральным, мозгом, то их относят к категории универсальных лечебных эффектов. Наряду со стандартным различают *нулевое* плацебо, которое блокирует терапевтический эффект любого лечебного средства, и *реверсное* плацебо, которое оказывает негативный эффект на проявление и течение болезни. Инструментальных методов верификации той или иной разновидности плацебо сегодня не существует. Хотя и очевидно, сколь важна и актуальна медико-техническая разработка такого рода инструментальной диагностики лечебного процесса.

Сейчас выделена и фигурирует категория *псевдоплацебо*, т.е. воздействия, при котором наблюдается примерно та же существенная подвижка физиологически активных веществ на уровне лимбической системы головного мозга. К категории псевдоплацебо относится и КВЧ-терапия, которая в 1,5 раза уменьшает наличие лабораторных при-



знаков терминального состояния при инсультах и на 11,5 % увеличивает госпитальную выживаемость больных с обширными и трансмуральными инфарктами миокарда.

Однако уровень технических разработок сегодня, по-видимому, не достигает ключевых позиций нейрокомпьютинга, а современные представления нейрокомпьютинга, судя по данным [16], адекват-

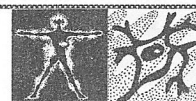
но описывают только спинальный, а не церебральный уровень регуляции реальных физиологических процессов. Спинальный же уровень регуляции означает контроль над сенсорными, моторными и вегетативными автоматизмами, но отнюдь не над произвольной активностью человека. Вероятно, существенная подвижка представлений о взаимодействии КВЧ с биологическими объектами произойдет в процессе решения поставленных вопросов.



Литература

1. Родитат И.В. Физиологическая концепция взаимодействия миллиметровых радиоволн с организмом человека. — Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине": Сб. докл. — М.: ИРЭ АН СССР, 1991, ч.3.
2. Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж. и др. Молекулярная биология клетки. — М.: Мир, 1994, т.2.
3. Майстрах Е.В. Тепловой баланс гомеотермного организма. — Физиология терморегуляции. — Л.: Наука, 1984.
4. Чернавский Д.С. Механизм КВЧ-пунктурной терапии. — Избранные вопросы КВЧ-терапии в клинической практике, 1991, №4, вып.61.
5. Родитат И.В. КВЧ-модуляция процессов функционирования и смерти корпоральных и мозговых тканей: Препринт №8 (596). — М.: ИРЭ РАН, 1994.
6. Мухаринская В.С., Миташивили Т.И., Чиковани К.С. Изменение содержания некоторых нейромедиаторов в лимфоидных органах при острых нарушениях мозгового кровообращения. — Взаимодействие нервной и иммунной систем. — Л. — Ростов-на-Дону, 1990.
7. Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж. и др. Молекулярная биология клетки. — М.: Мир, 1994, т.3.
8. Вогралик В.Г., Вогралик М.В. Иглорефлексотерапия (пунктационная рефлексотерапия). — Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1978.
9. Карлов В.А., Родитат И.В., Калашников Ю.Д., Китаева Л.В. Применение аппарата "Электроника КВЧ" при лечении ДВС-синдрома у больных с сосудистыми заболеваниями головного и спинного мозга. — Аппаратный комплекс "Электроника-КВЧ" и его применение в медицине. — М.: НПО "Сатурн", 1991.
10. Семенова С.В. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на функциональное состояние системы гемостаза у больных инфарктом миокарда: Автореф. дисс...канд. мед. наук. — Саратов: Саратовский гос. мед. ун-т, 1994.
11. Лян Н.В., Воторопин С.Д. Миллиметровая терапия проекционной боли (фантома). — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, №7.
12. Добронравова И.С. Реорганизация электрической активности мозга человека при угнетении и восстановлении сознания (церебральная кома). Дисс...докт. биол. наук, представленная в форме научного доклада. — М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 1996.
13. Гуревич М.Е. Реакции лимфатических узлов мышей на СВЧ-излучение ММ-диапазона в зависимости от места воздействия и исходного состояния животных: Автореф. дисс...канд. мед. наук. — Томск: Медицинский ин-т, 1987.
14. Camara E. G., Danao Th. C. The brain and the immune system: A psychosomatic network. — Psychosomatics, 1989, v.30, pp.140—146.
15. Залубовская Н.П. Биологические реакции как основа гигиенической оценки электромагнитных волн миллиметрового диапазона: Дисс...докт. биол. наук. — Харьков: Харьковский гос. ун-т, 1979.
16. Карп В.П., Родитат И.В., Чернавский Д.С. Нейрохимия спинальной регуляции и нейрокомпьютинг. — Вестник новых медицинских технологий, 1996, т. III, №4.

Поступила 10 сентября 1997 г.



Действие КВЧ-излучения на метаболизм клеток цианобактерий *Spirulina platensis* и других фотосинтезирующих организмов

А.Х.Тамбиев, Н.Н.Кирикова

✎ Показано стимулирующее действие КВЧ-излучения на рост и физиологическую активность фотосинтезирующих организмов; изучены некоторые первичные реакции в ответ на это воздействие; высказано предположение о важной роли кислорода в механизме стимулирующего эффекта КВЧ-излучения.

Stimulating influence of EHF-radiation on the growth and physiological activity of photosynthetic organisms is shown. Some primary reactions as the answer on this action investigated. The assumption is stated about important role of oxygen in the mechanism of stimulating effect of EHF-radiation.

Воздействие радиоволн миллиметрового (ММ) диапазона низкой интенсивности (КВЧ-излучение) успешно изучается и применяется в исследовательской и практической медицине уже более двадцати лет. Исследования проводились также на объектах биотехнологии (дрожжах и др.). В последние годы на фоне широкого ряда работ по действию КВЧ-излучения на живые организмы возникло новое направление, заключающееся в действии этого фактора на фотосинтезирующие организмы (цианобактерии и микроводоросли) [1–4].

К настоящему времени нами получен большой экспериментальный материал, позволяющий выявить первичные реакции фотосинтезирующих организмов на КВЧ-излучение.

Исследования проводили с объектами, перспективными в практическом отношении: цианобактерией *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. (прокариот) — продуцентом ценного пищевого и кормового белка и биологически активных соединений, а также с промышленно важной морской зеленой одноклеточной водорослью *Platymonas viridis* Rouch. (эукариот), признанным объектом марикультуры [5, 6].

S. platensis, уникальная цианобактерия, является алкалофильным микроорганизмом, растет при высоких значениях рН среды (при $pH > 11$) с содержанием значительного количества натрия и, по-видимому, относится к “натриевым” микроорганизмам, которые используют натриевый цикл в своей цитоплазматической мембране [7]. В результате натрия стимулирует фотосинтетическую активность, а в отсутствие этого элемента питания в культуре быстро развиваются светозависимые нарушения метаболизма: прекращается выделение кислорода, разрушается фикоцианин [8]. Натрий играет не только роль буфера при образовании $\Delta\mu H^+$, но и прямо вовлекается в превращение энергии, заменяя ион H^+ . Такие свойства очень перспективны для фотобиотехнологии, поскольку подобные цианобактерии могут продолжать размножение и образование биомассы в условиях высокой щелочности, когда не выживают другие микроорганизмы, энергетика которых основана на транспорте протона.



**Александр Хапачевич
Тамбиев —**

д.б.н., проф., гл.н.с.
МГУ им. М.В.Ломоносова.

Научные интересы:
клеточная биология, физиология
растений и микроорганизмов



**Наталья Николаевна
Кирикова —**

к.б.н., вед.н.с.
МГУ им. М.В.Ломоносова.

Научные интересы:
клеточная биология, физиология
растений и микроорганизмов



Промышленное культивирование цианобактерии *S. platensis* с целью получения больших количеств биомассы, содержащей ценные продукты жизнедеятельности, имеет большие перспективы и интенсивно развивается в настоящее время во многих странах мира [9—11].

Для непрерывного однократного облучения культур *S. platensis* и *P. viridis* использовали генератор высокочастотных сигналов Г4-141. Облучение культур *S. platensis* проводили в тонком слое жидкой среды Зарука, а *P. viridis* — на агаризованной среде Гольдберга в специальных сосудах из фторопласта типа чашек Петри с закрывающейся крышкой. Перед опытом сосуды стерилизовали сухим жаром; рупор генератора подводили снизу, и облучение проводили в заданном режиме. Условия проведения опытов изменяли по частоте, плотности падающей мощности и продолжительности облучения [5, 6].

Импульсное однократное облучение культуры *S. platensis* проводили релятивистским генератором обратной волны на длине волны 3 см (СВЧ). Длительность импульса 10 нс, изменение несущей частоты во время импульса составляет 10 %, средняя плотность падающей мощности — 200 кВт/см², время между импульсами — 6 мин [12].

Проводимое в течение ряда лет изучение влияния КВЧ-излучения на рост и физиологическую активность некоторых фотосинтезирующих организмов показало, что при определенных режимах оно стимулирует ростовые процессы (табл.1), увеличивает интенсивность фотосинтеза, влияет на транспорт ионов через поверхностную мембрану клеток, а также на свойства культуральной среды, ее состав, концентрацию ионов, их соотношение и кислотность среды.

Обнаруженный нами эффект интенсификации фотосинтетических процессов сопровождался по-

вышением выделения кислорода в клетках цианобактерий и микроводорослей под действием КВЧ-излучения [13]. Наиболее отчетливо влияние КВЧ-излучения проявлялось уже после 10 сут культивирования, при этом стимуляция опытных вариантов по сравнению с необлученными культурами была значительной — от 180 до 250 % в зависимости от условий опыта. Пигментный состав микроводорослей также изменялся при взаимодействии их с КВЧ-излучением. В клетках облученных культур заметно возрастало содержание хлорофилла и каротиноидов по сравнению с необлученными культурами [13, 14]. В то же время процесс темнового поглощения кислорода у облученных культур заметно снижался по сравнению с необлученными. Эти результаты согласуются с литературными данными о конкуренции между дыханием и фотосинтезом у цианобактерий. Таким образом, было показано, что КВЧ-излучение сдвигает взаимодействие между этими механизмами в сторону более благоприятного для клеток процесса — фотосинтеза [15].

Воздействие КВЧ-излучения положительно влияло не только на рост *S. platensis*, но и на взаимодействие клеток цианобактерии с минеральными компонентами питательной среды [16].

Все вышеперечисленное явилось предпосылкой к изучению физиологической роли натрия как важного элемента минерального питания цианобактерий в условиях воздействия на них факторов, активирующих рост культур, одним из которых может быть КВЧ-излучение.

Использование чувствительной установки для регистрации концентрации ионов и компьютерного способа расчета [17] дало возможность выявить некоторые отличительные особенности транспортной системы, ответственной за поглощение натрия у культуры *S. platensis* и влияние на нее КВЧ-излучения.

Табл.1. Влияние КВЧ-излучения на прирост биомассы у необлученных (I) и облученных (II) культур фотосинтезирующих организмов: *S. platensis* (A) и *P. viridis* (B), г/л

Время облуче- ния, мин	Возраст культуры, сут												Стимуляция роста на 30-е сутки, %	
	10				20				30					
	I		II		I		II		I		II			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
15	0,15	0,5	0,30**	0,16**	0,75	0,31	1,40**	0,60**	2,40	0,40	5,20*	0,91**	217	228
30	0,20	0,05	0,23	0,18**	0,71	0,31	1,07	0,47*	2,12	0,40	4,16**	0,92*	196	230
60	0,13	0,05	0,13	0,15	0,67	0,31	1,05	0,54*	1,96	0,40	2,08	1,15**	106	288
120	0,12	0,12	0,10	0,16	1,52	0,27	1,03	0,28*	3,24	0,44	2,92	0,49	90	111
360	0,07	0,20	0,043	0,16	0,32	0,40	0,26	0,40	1,56	0,57	1,44	0,52**	92	91

Примечание. Различия значимы при: * — $p > 0,95$, ** — $p > 0,99$.



До настоящего времени для *S. platensis* не было данных, характеризующих транспорт натрия в клетках и, тем более, его изменения с возрастом культуры [8].

Как показали наши исследования, транспорт натрия у необлученной культуры *S. platensis* описывался кривой, имеющей четко выраженный двухфазный характер: вначале шло очень быстрое, продолжающееся не более 30 с, поглощение иона натрия, затем поглощение либо тормозилось (у культур 30-суточного возраста), либо сменялось выделением иона из клеток в раствор (10- и 20-суточные культуры). Двухфазный характер кривой поглощения ионов был показан ранее в ряде исследований с микроорганизмами, клетками водорослей и растений [17].

Одной из вероятных причин двухфазности может быть изменение внутриклеточной концентрации иона натрия. Этот процесс связывают с активным транспортом натрия через поверхностную мембрану, осуществляющемуся против электрохимического потенциала его и требующего затраты энергии. Он зависит от интенсивности энергодающих процессов — фотосинтеза и дыхания. Для *S. platensis* в данных условиях культивирования ранее было показано, что именно на 20-е сутки культивирования культура имеет максимальную скорость процесса светозависимого выделения и темнового поглощения кислорода [15]. По-видимому, энергия, образующаяся при работе фотосинтетических и дыхательных электрон-транспортных цепей (ЭТЦ), используется для процесса активного выкачивания иона натрия из клетки. В то же время выделение иона натрия из клеток — процесс медленный, зависит от освещения и интенсивности метаболизма [7].

После воздействия облучения наблюдались изменения и в быстрой, и в медленной фазах кривых, отражающих транспорт натрия [17, 18]. В медленной фазе выделения у облученной культуры *S. platensis* можно было наблюдать изменение скорости выделения натрия или его торможение вообще, причем просматривалась довольно четкая корреляция характера изменения медленной фазы и эффекта облучения на физиологическое состояние культуры, фотосинтез и прирост биомассы. Облучение при длине волны 6,66; 7,2 и 7,89 мкм на 10- или 20-е сутки культивирования ингибировало медленную фазу, связанную с выделением иона Na^+ из клетки. Концентрация натрия в среде после завершения быстрой фазы поглощения не менялась, оставаясь на постоянном уровне и на 30-е сутки культивирования. После последовательного облучения (при $\lambda = 6,66$ мкм, а затем при $\lambda = 7,2$ мкм) эффект был гораздо меньше, и культура *S. platensis*

до 30 суток роста сохраняла способность выделять натрий из клетки почти так же, как и необлученная культура [18].

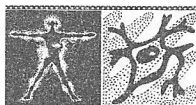
Одновременная регистрация изменения концентрации различных ионов в среде при культивировании цианобактерий после воздействия КВЧ-излучения показала, что процессы транспорта иона Na^+ из среды в клетку или выделения его из клетки меняются раньше и в большей степени, чем такие ионы, как K^+ , Cl^- , NO_3^- [16].

Изменение транспорта ионов после облучения наблюдается до 10 суток роста и, вероятно, является одной из первичных реакций в ответ на это воздействие. Как следствие этого, регистрируются изменения в концентрации ионов в питательной среде, что может вызывать вторичные изменения транспортных процессов, метаболизма клеток и роста культуры [19].

Таким образом, у цианобактерии *S. platensis*, растущей при высоких значениях pH среды и требующей высоких концентраций натрия для роста, КВЧ-излучение, активирующее прирост биомассы, деление клеток, интенсифицирующее метаболические процессы, в первую очередь влияет на поступление и выведение натрия из клетки, причем изменения в транспорте иона наблюдаются раньше, чем изменения фотосинтеза, пигментного состава клетки или прироста биомассы.

В наших предыдущих опытах [12] было показано, что при комбинированном воздействии КВЧ- и СВЧ-электромагнитного излучения итоговый стимулирующий эффект зависит как от частоты предварительного облучения ЭМИ ММ-диапазона, так и от количества импульсов при последующем облучении ЭМИ СВЧ-диапазона. Максимальная стимуляция биомассы *S. platensis* при этом была достигнута при воздействии на клетки 10 импульсами СВЧ наносекундной длительности. Наибольший прирост биомассы обнаружили после воздействия излучения при 6,6 мкм + 10 импульсов. Облученная комбинированным излучением культура несколько иначе ведет себя в отношении к минеральным веществам среды. К 30 суткам культивирования в среде происходило снижение концентрации натрия и нитрата, вероятно, вследствие их поглощения клетками культуры [19].

Наблюдаемые изменения в поглощении натрия могут быть связаны с возрастанием или уменьшением проницаемости мембраны или с изменением потенциала на поверхностной мембране клетки. В соответствии с имеющимися нашими и литературными экспериментальными данными о механизме влияния КВЧ-излучения на биологические объекты можно полагать, что первичное воздействие это



излучение оказывает на мембранную систему клетки. Так, для растительных клеток показано изменение мембранного потенциала после облучения [20], а для белковых молекул обнаружено, что местом действия этого излучения является водородная связь белковых макромолекул, которая во многом определяет их конформацию, в связи с чем может меняться проницаемость мембраны [21, 22]. Можно полагать на этом основании, что изменение поглощения натрия в первые дни культивирования после облучения может быть обусловлено воздействием облучения на мембранную систему клетки.

Более поздний эффект облучения на поведение иона натрия состоит в активации выделения этого иона. Выделение натрия из клетки — это активный процесс, идущий с потреблением АТФ, следовательно, зависящий от уровня энергетических реакций в клетке. Активация выделения иона может быть связана с активацией физиологических процессов, в частности фотосинтеза, в облученных клетках микроводорослей. Таким образом, при воздействии на цианобактерию *S. platensis* КВЧ-излучением показано изменение нетто-транспорта иона Na^+ , описываемое кривой, имеющей двухфазный характер.

Кроме того, облучение активирует поглощение из среды клетками *S. platensis* нитратов и синтез в них белка. Максимум поглощения NO_3^- наблюдался спустя 20...30 суток культивирования после облучения. Известно, что поглощение нитрата является процессом активным и идет с затратой энергии. Среди факторов, оказывающих регуляторное воздействие на поглощение нитрата, отмечают энергетический статус клеток, наличие восстановителя, эффективность работы ферментов восстановления и ассимиляции азота [16]. В связи с этим большое воздействие на поглощение NO_3^-

оказывает фотосинтез, активация которого под воздействием КВЧ-излучения показана ранее [13]. Поскольку КВЧ-излучение вместе с фотосинтезом активирует и процесс поглощения NO_3^- , можно полагать, что у облученной культуры *S. platensis* более интенсивно идет и процесс ассимиляции азота, и биосинтез белка. Действительно, предварительные опыты по определению содержания белка в клетках *S. platensis* показали увеличение его количества в среднем от 3 до 10 % после действия КВЧ-излучения [16].

На основании полученных данных мы предположили, что ионный состав среды, на которой происходит выращивание *S. platensis*, может оказаться важным фактором, обуславливающим воздействие КВЧ-излучения. Известно, что существенным компонентом минерального питания автотрофных фотосинтезирующих организмов является кальций. Функции его многообразны и могут иметь некоторые специфические особенности для алкалотолерантных и алкалофильных микроорганизмов, поэтому было проведено выяснение роли кальция для роста *S. platensis* и значения этого элемента питания для проявления стимулирующего эффекта КВЧ-излучения на накопление биомассы и некоторые физиологические характеристики этой цианобактерии.

Результаты настоящей работы показали, что у культур *S. platensis*, которые после облучения росли на среде, не содержащей кальций, эффект от воздействия КВЧ-излучения был выражен более значительно [23]. У необлученной культуры *S. platensis*, выращенной на среде, дефицитной по кальцию, скорость выделения кальция в среду была существенно выше (на 20...70 %), чем на полной питательной среде. Интересно отметить тот факт, что у облученной культуры, также выращенной на Ca^{++} -дефицитной среде, скорость выделения кальция была значительно выше (на 70...120%), чем у облученной культуры, выращенной на полной питательной среде Зарука (табл.2).

Уменьшение концентрации в среде кальция, влияющего на структуру мембран, и воздействие облучения на клетку одинаково меняют ее транспортные свойства, что может указывать на одинаковый характер действия этих факторов на клетку.

Выделение кальция в среду растительными тка-

Табл.2. Влияние КВЧ-излучения на фотосинтетическое выделение кислоты *S. platensis* на полной и Ca^{++} -дефицитной среде Зарука

Варианты опыта	мкмоль O_2 / мин 1 л сусп. D = 1				Стимуляция, %*			
	Возраст культуры, сут				Возраст культуры, сут			
	10	11	20	30	10	11	20	30
Облучение на полной среде	1,20	1,07	1,69	0,53	133,8	125,9	134,1	120,4
Облучение на Ca^{++} -дефицитной среде	1,33	1,33	1,46	0,91	147,8	156,5	115,9	206,8

Примечание. * — по отношению к фотосинтезу на полной питательной среде без облучения.



ниями при перенесении их на свежий раствор, содержащий этот ион, было показано ранее для Ca^{++} -дефицитных растений [23]. Данное явление было названо "кальциевым парадоксом" и его связывают с особенностями функционирования Na/Ca -обмена в этих условиях.

Обнаруженные в наших экспериментах повышение фотосинтетической активности, ускорение деления клеток и изменение проницаемости клеточных мембран и их транспортных свойств под действием КВЧ-излучения позволили предположить возможную стимуляцию экскреции органических соединений из облученных клеток цианобактерий и микроводорослей. Нами было обнаружено значительное увеличение экскреции в среду облученными клетками *S. platensis* углеводов и витамина B_2 (рибофлавина), которое зависело от длины волны, мощности облучения и сопровождалось существенным приростом биомассы; КВЧ-излучение повышало также экскрецию рибофлавина у микроводоросли *P. viridis* [24] (табл.3).

Табл.3. Действие КВЧ-излучения на экскрецию органических соединений *S. platensis* (возраст 40 сут)

Варианты опыта	Биомасса, г/л	Углеводы, мг/г сух. биом.	Рибофлавин, мкг/г сух. биом.
Контроль	0,488	266,3	20,5
Облучение, $\lambda = 7,89$ мм	0,720	291,0	25,6
$\lambda = 6,66$ мм	0,736	315,0	30,7
$P = 0,8$ мВт/см ²			
Контроль	0,420	619,0	29,7
Облучение, $\lambda = 7,89$ мм	0,700	960,0	35,7
$\lambda = 6,66$ мм	0,660	827,2	26,5
$P = 2,2$ мВт/см ²			

Полученные нами результаты свидетельствуют о возможности использования в фотобиотехнологии не только биомассы, но и культуральной жидкости *S. platensis* как стимулирующего фактора, поскольку интенсификация метаболических процессов у фотосинтезирующих организмов под действием облучения вызывает накопление в культуральной среде биологически активных и полезных соединений: витаминов, гормонов, углеводов и т.д.

Увеличение экскреции внеклеточных веществ у облученных клеток может быть связано с интенсификацией под действием электромагнитного из-

лучения фотосинтетических процессов, а также с повышением проницаемости клеточных мембран, так как полученные нами ранее результаты, как указывалось выше, свидетельствуют в пользу гипотезы о том, что первичное действие КВЧ-излучения состоит в изменении проницаемости клеточных мембран и их транспортных свойств [25, 26].

При изучении важных процессов динамики экскреции органических соединений в среду цианобактериями и микроводорослями возникает потребность определения интегральной характеристики выделяемых соединений — нативных экзометаболитов и внеклеточных продуктов, формирующих свойства среды, поэтому нами ранее был предложен метод химических моделей [27—29], дающий возможность получения такой характеристики водной или воздушной среды — реакционной способности (РС), которая складывается из окислительной (ОА) и антиокислительной (АОА) активностей, определяемых по отношению к раствору определенного соединения химической модели.

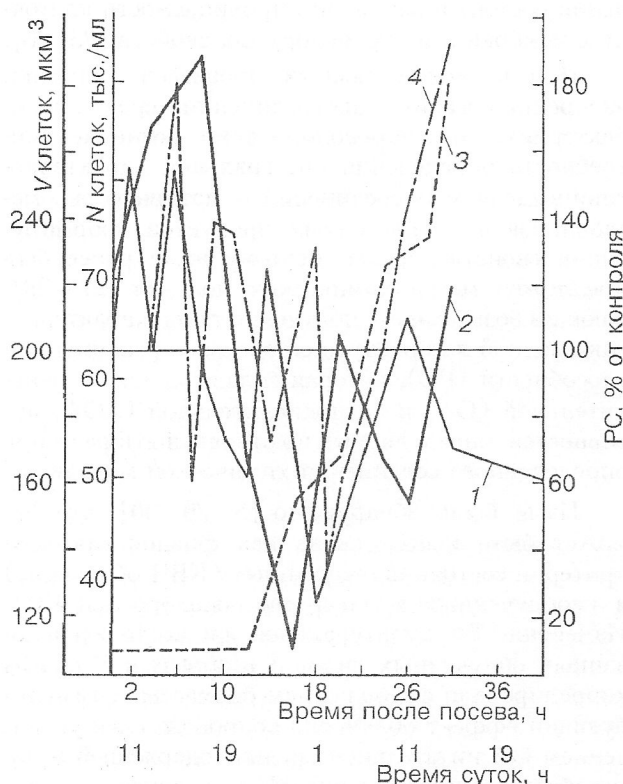
Нами было обнаружено [5, 29, 30], что РС может быть использована как физиологический критерий состояния облученных (КВЧ-облучение) и необлученных культур микроводорослей [31]. Изменение РС культуральной жидкости исследованных облученных видов *S. platensis* и *P. viridis* коррелировало с изменением биомассы. Стимулирующий эффект облучения сопровождался увеличением ОА питательной среды, содержащей экзометаболиты микроводорослей, по сравнению с контролем, что свидетельствовало о лучшем физиологическом состоянии биологического объекта.

Несмотря на то, что ряд аспектов экскреции органических соединений цианобактериями и микроводорослями изучен достаточно хорошо [32], ритмическая экскреция биоактивных соединений, имеющая большое значение как для стабилизации и регуляции естественных биоценозов, так и для массового культивирования объектов биотехнологии, является до сих пор малоизученным процессом, поэтому исследование суточной и часовой ритмики изменений РС экзометаболитов цианобактерий и микроводорослей, а также действие на нее КВЧ-излучения представляло несомненный интерес.

Ритмические изменения РС в норме могут быть использованы для выявления тонких колебаний метаболизма под действием различных факторов; КВЧ-излучение, по нашим данным, влияло на суточную ритмику РС экзометаболитов, определяемую экскретированными в среду соединениями. Однократное облучение в первые сутки роста сокращало длину лаг-фазы, ускоряло наступление



первого и всех дальнейших делений клеток микроводоросли *P. viridis*, что можно объяснить стимулированием накопления энергии в период интерфазы (рисунок).



Часовая ритмика изменений РС экзометаболитов (1) и объема клеток (2) *P. viridis* за 1–2-е сутки роста; (3) число клеток; (4) РС облученной культуры ($\lambda = 8,34$ мкм)

Наибольшая разница РС у облученных и необлученных культур *P. viridis* наблюдалась на вторые сутки роста, когда у последней, начиная с 24 ч после посева, идет постепенное падение ОА экзометаболитов с переходом ее в АОА, в то время как у облученной культуры ОА растет, что свидетельствует об экскреции в среду окислителей и о лучшем физиологическом состоянии микроводоросли [33].

Выявленное нами влияние на циркадные ритмы экскреции органических соединений, связанные с ритмическими процессами деления клеток и с периодическими изменениями физиологических характеристик, свидетельствует о том, что КВЧ-излучение ускоряет наступление фаз роста, связанных с интенсивным нарастанием численности клеток, а также облегчает процесс адаптации культу-

ры к новой среде. Циркадные процессы у микроводорослей некоторые исследователи объясняют периодическими изменениями положения органелл в клетке или циклическими изменениями проницаемости мембраны, и не исключено, что КВЧ-излучение влияет на эти процессы. Возможно также информационное воздействие на ход внутриклеточных биологических часов, определяющих циркадную ритмику [33].

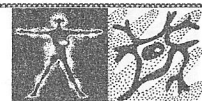
Таким образом, часовые и суточные ритмические процессы экскреции могут служить надежным индикатором внутренних физиологических и метаболических процессов. Изменение ритмики реакционной способности и сдвиг выделения соединений с окислительными и антиокислительными свойствами у облученных культур свидетельствуют о том, что КВЧ-излучение интенсифицирует метаболические процессы, в том числе экскреторную продукцию биологических активных и полезных соединений, что согласуется с полученными данными [34]. Все эти эффекты КВЧ-излучения могут быть весьма важны для массового культивирования микроводорослей и цианобактерий.

Полученные результаты согласуются с высказанными нами ранее предположениями о первичных механизмах действия ММ-волн на биологические объекты [25, 26], согласно которым КВЧ-излучение низкой интенсивности может приводить к ускорению активного транспорта ионов натрия, изменению проницаемости биологических мембран. Относительно механизмов действия КВЧ-излучения на клетки в литературе имеются самые различные взгляды [21, 22, 35]. Ряд авторов считает, что важнейшей точкой приложения действия этого излучения являются мембраны [22, 36].

Влияние КВЧ-излучения на работу систем мембранного транспорта отмечалось также для клеток высших растений. По мнению авторов, это определялось действием излучения на конформацию белков клеточной мембраны и белковой части АТФ-синтетазного комплекса [20, 35]. Полагают, что при этом происходит воздействие излучения на специфические АТФазы, транспортирующие натрий.

Высказывались предположения, что чувствительными к облучению ММ-волнами могут оказаться различные химические процессы, скорее всего ферментативные, интенсивно протекающие в мембранах или во внутренних пространствах везикул [20].

Как показали наши исследования, ММ-волны при однократном воздействии избирательно влияют у фотосинтезирующих объектов на очень чувствительные структуры и звенья метаболизма, что приводит к развивающимся сдвигам и накаплива-



ющимся впоследствии проявлениям физиологических эффектов.

Полученные нами результаты по соотношению фотосинтеза и темнового дыхания, недавно появившиеся литературные данные по влиянию КВЧ-излучения на поглощение и выделение ионов [15], а также несоответствие между малой величиной поглощенной энергии при КВЧ-излучении и величиной "ответа", выражающейся в ускорении роста и значительном увеличении выхода биомассы, позволяют нам говорить об изменениях транспортной функции мембран, связанных, возможно, с развитием самоускоряющихся механизмов, развивающихся в их липидной фазе, как о важнейшей вероятной причине, влияющей на метаболизм облученных клеток, в том числе на проявление стимулирующих эффектов.

Подобные механизмы описывались при развитии первичных реакций лучевого поражения и представляли собой реакции цепного автокаталитического типа [37]. Это не означает знака равенства в механизмах действия КВЧ-излучения и ионизирующей радиации, но некоторые внешние проявления имеют здесь сходство. Так, нами было показано, что стимулирующее действие КВЧ-излучения на фотосинтезирующие организмы снималось при отсутствии кислорода в момент облучения (облучение в атмосфере аргона) по следующим показателям: биомассе, выделению кислорода, количеству хлорофилла, уровню фотодыхания [15]. Результаты опытов с аргоном свидетельствовали о важной роли присутствия кислорода в момент облучения клеток, а поскольку выраженный положительный эффект КВЧ-излучения мы склонны приписывать функциональным изменениям в мембранах клеток, то присутствие кислорода, вероятно, важно для возникновения этих изменений.

Возможно, что присутствие кислорода при КВЧ-облучении ответственно за дальнейшее образование и накопление радикальных и перекисных состояний и развитие автокаталитических реакций типа цепных, идущих в липидной фазе мембран с накоплением конечных продуктов, приводящих к изменениям их функционального состояния, как это было показано ранее при облучении ионизирующей радиацией [37]. Весьма вероятно, что при отсутствии кислорода блокируются конформационные сдвиги в белковой фазе мембран, окисление сульфгидрильных и иных групп, что также могло бы привести к изменениям проницаемости мембран. Для детальной расшифровки обнаруженных эффектов необходимы дальнейшие исследования.

Некоторыми исследователями обсуждалась возможная роль молекул кислорода, который на резонансных частотах мог передавать водородно-

связанным молекулам воды часть поглощенной энергии и запускать цепочки возбуждения, обуславливая общую частотную зависимость биологического эффекта [38].

Некоторыми авторами [39] отмечалось ускорение перекисного окисления липидов в липосомах клеток под действием КВЧ-излучения. Похожие данные встречались и в работах других авторов. Так, при применении КВЧ-излучения в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы показано, что ММ-излучение обладает выраженным антиоксидантным действием, причем изменение содержания продуктов перекисного окисления липидов и увеличение антиоксидантного потенциала крови коррелирует с клиническим эффектом проводимых процедур [40].

По нашим данным, действие КВЧ-излучения на фотосинтезирующие организмы имеет пролонгированный характер, постепенно ослабевая к 3-му пассажу на фоне сохраняющегося повышенного количества пигментов в клетках [41]. Это можно было объяснить, с одной стороны, затуханием самоускоряющихся механизмов развития поражения, а с другой — возвращением к норме функционального состояния мембран клеток. По имеющимся литературным данным, относительно "памяти воды" высказывалось мнение, что она сохраняется после облучения электромагнитным излучением в течение нескольких суток [42]. Такой же пролонгированный характер действия КВЧ-излучения наблюдался на гетеротрофных микроорганизмах — *E. coli*, дрожжеподобном грибе *Endomyces fibuliger*, спиртовых и пивоваренных дрожжах [43].

Получены данные об образовании микромолекулярных концентраций перекиси водорода [44] и, возможно, других долгоживущих активных продуктов при облучении буфера СВЧ-полем 0,8 см диапазона. Авторы считают возможным активацию К—Са-каналов облученным буфером благодаря образующейся там перекиси водорода. В других работах [45, 46] предлагалась новая схема разложения воды при фотосинтезе, которая первоначально окисляется до перекиси водорода, что в конечном итоге приводит к образованию кислорода; следовательно, увеличение содержания перекиси водорода в воде (до определенного предела) должно положительно сказаться на интенсивности фотосинтеза. В то же время [39, 44] отмечалось увеличение перекисных состояний под действием ММ-волн, а в наших работах, начиная с первых публикаций [1, 13, 15], было получено выраженное увеличение после однократного воздействия КВЧ-излучения как количества фотосинтезирующих



пигментов, так и интенсивности фотосинтеза по выделению кислорода. Перекись водорода относится к активным формам кислорода (образуется она из супероксида под действием супероксиддисмутазы), и величина ее образующихся концентраций определяет развитие тех или иных биологических

эффектов от стимуляции фотосинтеза до повреждения клетки [47].

Таким образом, перекисные состояния, возникающие при КВЧ-облучении, по нашему мнению, могли бы быть важнейшим звеном в механизмах самоускорения, сопровождающих развитие первичных реакций при действии КВЧ-излучения.

Литература

1. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Яковлева М.Н. и др. Стимуляция роста сине-зеленых водорослей при действии электромагнитного излучения ММ-диапазона низкой интенсивности. — Сб. докл. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. — М.: ИРЭ АН СССР, 1986.
2. Tambiev A.H., Gusev M.V., Kirikova N.N. et al. Stimulation of growth of cyanobacteria by millimeter electromagnetic radiation of low intensiveness. — Trade Exhibition Microbe-86. XIX Intern. Congr. Microbiol., September 7—13: Abstr. — Manchester, England, 1986.
3. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Перспективы применения электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в фотобиотехнологии. — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1992, №1.
4. Tambiev A.H., Kirikova N.N. The prospects of use of ENF radiation in photobiotechnology. — Biological aspects of low intensity millimeter waves. — M.: Seven plus, 1994.
5. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. и др. Стимулирующее действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности на рост микроводорослей. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1990, №1.
6. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М., Гусев М.В. Изменение ростовых характеристик при воздействии на микроводоросли электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1990, №2.
7. Скулачев В.П. Биоэнергетика. Мембранные преобразователи энергии. — М.: Высш. шк., 1989.
8. Маркарова Е.Н., Кирикова Н.Н., Тамбиев А.Х., Гусев М.В. К вопросу о физиологической роли натрия у цианобактерий. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1997, №1.
9. Ed. par Doumenge F., Durand-Chastel H., Toulemon A. Spiruline, algue de vie. Spirulina, algae of life. — Bulletin de l'Institut oceanographique, 1998, Monaco. — Numero special 12.
10. Henrikson R. Earth food Spirulina. — Kenwood, California, Ronore Enterprises, Inc., 1994.
11. Dragos N., Hodisan V., Peterfi L.S. Spirulina. Caracterizarea biologica obtinerea si valorificarea biomasei. — Contributii botanice, 1987. — Universitatea Cluj-Napoca, Gradina botanica.
12. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. и др. Влияние комбинированного воздействия миллиметро-
- вого и сантиметрового электромагнитного излучения на продуктивность микроводорослей. — Сб. докл. Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989.
13. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. Изменение фотосинтетической активности микроводорослей под влиянием электромагнитного излучения. — Физиол. раст., 1992, т.39, вып.5.
14. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Общие закономерности действия КВЧ-излучения на фотосинтезирующие объекты. — Сб. докл. 10 Росс. симп. с межд. участ. "Миллиметровые волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, 1995.
15. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лебедева А.Ф. Влияние КВЧ-излучения на физиологическую активность микроводорослей. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1993, №1.
16. Маркарова Е.Н., Кирикова Н.Н., Саари Л.А., Тамбиев А.Х. Поглощение минеральных веществ у *Spirulina platensis* при действии КВЧ-излучения. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1992, №2.
17. Маркарова Е.Н., Кирикова Н.Н., Тамбиев А.Х. Действие КВЧ-излучения на кинетику транспорта натрия у *Spirulina platensis*. — Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1995, №2.
18. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Маркарова Е.Н. Влияние КВЧ-излучения на транспортные свойства мембран у фотосинтезирующих организмов. — Биомедицинская радиоэлектроника, №4 в ж. Радиотехника, 1997, №4.
19. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Маркарова Е.Н. Влияние электромагнитного излучения на рост и ионный статус среды культивирования у *S.platensis*. — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, №8.
20. Петров И.Ю., Бецкий О.В. Изменение потенциалов плазматических мембран клеток листа зеленого растения при электромагнитном облучении. — ДАН СССР, 1989, т.305, №2.
21. Девятков Н.Д., Голант М.Б. О механизме воздействия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности на жизнедеятельность организмов. — Сб. докл. Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983.
22. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. — М.: ИРЭ РАН, 1994.



23. Маркарова Е.Н., Кирикова Н.Н., Тамбиев А.Х. Эффект КВЧ-излучения у *Spirulina platensis* в зависимости от состава минеральной среды. — Биотехнология, 1997, №11—12.
24. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Влияние электромагнитного излучения на экскрецию некоторых органических соединений у фотосинтезирующих организмов. — Биотехнология, 1997, №1.
25. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Возможные механизмы взаимодействия КВЧ-излучения с клетками фотосинтезирующих организмов. — Тез. докл. Межд. конф. "100-летие начала использования электромагнитных волн для передачи сообщений и зарождения радиотехники", 1995, ч. II.
26. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. О первичных реакциях фотосинтезирующих организмов на воздействие КВЧ-излучения. — Сб. докл. 11 Росс. симп. с межд. участ. "Миллиметровые волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, 1997.
27. Тамбиев А.Х. Летучие вещества, запахи и их биологическое значение. — М.: Знание, 1974.
28. Тамбиев А.Х. Реакционная способность экзометаболитов растений. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.
29. Тамбиев А.Х., Лапшин О.М. Влияние КВЧ излучения на ритмику фотосинтетических процессов морской микроводоросли. — Межд. конф. "Фотосинтез и фотобиотехнология": Тез. докл. — Пушкино: Пушкинский Научный Центр, 1991.
30. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. и др. Изменение реакционной способности экзометаболитов сине-зеленой водоросли спирулина под действием ММ излучения. — Сб. докл. Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987.
31. Tambiev A.H., Kirikova N.N., Lapshin O.M., Gusev M.V. Physiological criterion of cyanobacterium growth stimulation. — 8th Int. Biotechn. Symp.: Abstr. book. — Paris, Juli 17—22, 1988.
32. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Выделение органического вещества у морских водорослей. — Успехи соврем. биологии, 1981, т.92, вып.1(4).
33. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н. Ритмические процессы в клетках микроводорослей и действие на них КВЧ-излучения. — Биотехнология, 1997, №7—8.
34. Tambiev A.H., Kirikova N.N. Effect of ENF-irradiation on the physiological activity of cyanobacteria. Abstr. VIII Intern. Symposium on phototrophic prokaryotes, Urbino, September 10—15, 1994.
35. Бецкий О.В. Механизмы биологических эффектов взаимодействия ММ-волн с живыми организмами. — Сб. докл. Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". — М.: ИРЭ АН СССР, 1991.
36. Бецкий О.М., Ильина С.А. Кожа и проблема взаимодействия миллиметровых волн с биологическими объектами. — Сб. докл. Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989.
37. Тарусов Б.Н. Первичные процессы лучевого поражения. — М.: Госатомиздат, 1962.
38. Хургин Ю.И., Бецкий О.В., Цереветинова Н.Г., Перепечкина Т.Л. О природе первичной мишени при воздействии низкоинтенсивного миллиметрового излучения на биологические объекты. — Сб. Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987.
39. Андреев В.Е., Бецкий О.В., Ильина С.А. и др. Ускорение перекисного окисления липидов в липосомах под действием миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1981.
40. Лебедева А.Ю. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы. — Тез. докл. 11 Межд. симп. "Миллиметровые волны в медицине и биологии". — Москва, 21—24 апреля 1997.
41. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. Влияние ЭМИ ММ диапазона на фотосинтетическую активность микроводорослей. — Сб. докл. Применение КВЧ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989.
42. Гапочка М.Г. Воздействие электромагнитного излучения на водные растворы и биологические системы. — Автореф. канд.дисс. — М.: ООП Физ. ф-та МГУ, 1998.
43. Реброва Т.Б. Влияние электромагнитного диапазона на жизнедеятельность микроорганизмов. — Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1992, №1.
44. Маринов Б.С., Чайлахян Л.М. Регуляция активности супероксиддисмутазы сверхвысокочастотным излучением. Механизм действия СВЧ. — ДАН, 1997, т.356, №6.
45. Комиссаров Г.Г. Фотосинтез: взгляд с новых позиций. — Наука в России. — М.: Знание, 1994, №5.
46. Комиссаров Г.Г. Фотосинтез как физико-химический процесс. — Химическая физика, 1995, т.14, №11.
47. Скулачев В.П. Старение организма — особая биологическая функция, а не результат поломки сложной живой системы: биохимическое обоснование гипотезы Вейсмана. — Биохимия, 1997, т.62, вып.11.

Поступила 26 марта 1998 г.



Алексей Иванович Гуляев —
к.м.н., ст. преподаватель каф. физ.
воспитания и здоровья СГМУ.

Научные интересы:
эндокринология, экологически
обусловленная патология,
применение ММ-волн в медицине;
вопросы спортивной медицины,
валеологии и ювенологии



Лилия Анатольевна Лисенкова —
д.м.н., проф., зав. каф.
пропедевтики детских болезней
СГМУ.

Научные интересы:
педиатрия, эндокринология,
экологически обусловленная
патология, применение ММ-волн
в медицине



Вольдемар Иванович Петросян —
к.ф.-м.н., с.н.с.
ИРЭ РАН (г.Саратов).

Научные интересы:
физика и технология
конденсированных и
квантово-размерных сред, физика
взаимодействия ММ-волн
с физическими и биологическими
объектами, применение ММ-волн
в медицине

Применение молекулярно-волновой терапии в комплексном лечении больных с сочетанной патологией

*А.И.Гуляев, Л.А.Лисенкова, В.И.Петросян, В.Ф.Киричук,
Н.И.Синицын, В.А.Ёлкин, И.А.Захаров, Е.А.Максимова,
О.П.Ликашина, В.В.Фёдоров, Е.В.Чернова, Н.А.Маркина*

Обсуждается метод диагностики, основанной на СПЕ-эффекте, и КВЧ-терапии с использованием новых частот.

The article deals with the experience of wide clinical using of the elaborated by the authors new method of the ENF therapy (precision-wave therapy) in patients with combined pathology when it was a part of the complex treatment

В последние десятилетия XX века продолжает возрастать антропогенная нагрузка на организм человека. К ней относятся как постоянно увеличивающееся урбаноженное мультифакториальное загрязнение внешней среды, так и высокая "нагруженность" сельского хозяйства разнообразными агро- (в том числе ядо-) химикатами и (не в последнюю очередь) последствия ряда крупномасштабных экологических катастроф. Для ряда населенных территорий России ситуация осложняется также не вполне благоприятными природными условиями (например, дефицитом йода и дисбалансом других микроэлементов в почве некоторых обширных регионов) [1–5].

Изучение заболеваемости детского и подросткового населения Саратовской области (обследовано свыше 13000 человек) позволило выявить ряд существенных неблагоприятных тенденций, к которым относятся, в частности, следующие:

- ✓ значительно сузилась в процентном отношении прослойка здоровых лиц молодого возраста; так, в крупных промышленных городах и сельских районах Саратовской области при популяционном обследовании, проводившемся высококвалифицированными специалистами, но без привлечения подробных лабораторных и инструментальных исследований, количество здоровых подростков составляло лишь 4...11 %;
- ✓ резко снизилось наличие у молодых людей монопатологии — свыше 40 % больных детей и подростков страдают одновременно двумя и более заболеваниями.

Молекулярно-волновая терапия (МВТ)* представляет собой разработанный авторами вариант миллиметровой (ММ) (КВЧ) терапии, когда в качестве рабочих используются резонансные частоты прозрачности воды (водной компоненты биосреды) — 50,3; 51,8 и 65,0 ГГц при потоках мощности воздействия приблизительно 1 мкВт/см² [6]. Теоретические основы МВТ заложены в работах радиофизиков [7, 8].

В клинической практике МВТ производится при помощи рупорного облучения проекций соответствующих органов пациента при помощи лечебного генератора "Явь-1" производства ГНПП "Исток" (модификация разработана по нашей документации, работает на введенных резонансных частотах воды).

* В предыдущих публикациях мы пользовались другим термином для обозначения нового вида терапии — прецизионно-волновая терапия (ПВТ).

Несмотря на то, что в случае лечения ряда заболеваний в ранней (и тем более субманифестной) сравнительно легко поддающейся терапии стадии МВТ вполне может быть использована как монотерапия, в нашей клинической практике приходилось несравнимо чаще сталкиваться с лечением пациентов, страдающих одновременно несколькими заболеваниями, причем нередко каждое из них продолжалось уже в течение длительного времени и протекало с достаточно тяжелыми клиническими проявлениями. В подобных наблюдениях продолжительность и тяжесть течения сочетанной патологии позволяли в интересах больного активно использовать МВТ только как часть комплексной терапии. Впрочем, авторам кажется более чем естественным, что ненагруженная, неинвазивная, не вызывающая отрицательных побочных эффектов и не имеющая при большинстве видов соматической патологии противопоказаний МВТ может (и должна) использоваться параллельно с медикаментозным, хирургическим и другими видами лечения.

Начиная с 1994 г., МВТ применяется в лечебно-профилактической практике кафедр физического воспитания и здоровья и пропедевтики детских болезней Саратовского государственного медицинского университета (СГМУ) [9, 10].

В период с 1994 г. по ноябрь 1997 г. МВТ была включена в комплексное лечение более 450 больных с различной соматической патологией. Среди этих больных значительное большинство составляли пациенты с сочетанной патологией, и если МВТ активно применялась для лечения только одной из нозологий, то причиной тому обычно служила ремиссия других заболеваний.

Лишь в крайне редких случаях МВТ использовалась как монотерапия, поскольку по роду и тяжести течения заболеваний нецелесообразно было ставить вопрос об отмене базисной медикаментозной терапии. В то же время, представляя собой часть комплексного лечения, МВТ в ряде случаев позволяла уменьшить дозировки применяемых фармакологических препаратов, устраняла их отрицательное побочное действие, улучшала общее состояние и самочувствие больных за счет повышения неспецифической резистентности организма, модуляции иммунного статуса.

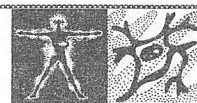
В данной публикации приводятся четыре клинических наблюдения из нашей практики, демонстрирующие успешное применение МВТ при разнообразной сочетанной патологии у больных различных возрастных групп.

В качестве примера представляем историю болезни девочки-подростка, которой одновременно было диагностировано несколько заболеваний.

- **Больная Марина К. (14 лет).** Госпитализирована в клинику пропедевтики детских болезней СГМУ 11.12.1996 г. (история болезни №11529/1087) с направительным диагнозом: диффузное увеличение щитовидной железы III–IV степени; хронический пиелонефрит в стадии обострения.

По данным семейной легенды, патология щитовидной железы была только у родной тетки и двоюродной сестры (ее дочери).

В раннем детстве развивалась соответственно возрасту; часто болела вирусными респираторными инфекциями. В 8-летнем возрасте перенесла ветряную оспу. В школьном возрасте диагностирован пиелонефрит, имевший тенденцию к волнообразному течению. В 14-летнем возрасте при профилактическом осмотре школьным врачом выявлено диффузное увеличение щитовидной железы III–IV степени. Назначено лечение L-тироксином (50, затем 100 мг/сут.).



Вячеслав Федорович Киричук —
д.м.н., проф., акад. МАН ВШ,
чл.-корр. МА ЭИН, ректор и зав.
каф. физиологии человека СГМУ.

Научные интересы:
физиология свертывающей
и противосвертывающей системы
крови, применение ММ-волн
в биологии и медицине



Николай Иванович Синицын —
д.ф.-м.н., проф. ИРЭ РАН
(г. Саратов), акад. Российской
Академии естественных наук.

Научные интересы:
вакуумная микроэлектроника,
акустоэлектроника и
твёрдотельная СВЧ-электроника,
взаимодействие электромагнитных
ММ-волн с биологическими
и физическими объектами



Владимир Александрович Елкин —
с.н.с. ИРЭ РАН (г. Саратов).

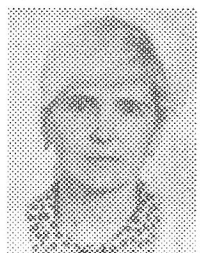
Научные интересы:
радиофизические исследования
природных образований,
взаимодействие электромагнитных
ММ-волн (нетеплового уровня)
с физическими и биологическими
объектами



Игорь Александрович Захаров —
д.м.н., зав. каф. экономики, упр.
здравоохранением и мед.
страхования СГМУ.
Научные интересы:
современная организация
диагностики, соматическая
патология, применение
спектрально-волновой диагностики
и МВТ



Евгения Александровна Максимова —
к.м.н., ассист. каф. педиатрии
детских болезней СГМУ.
Научные интересы:
детская патология и применение
спектрально-волновой диагностики
и МВТ



Ольга Петровна Ликашина —
детский врач-эндокринолог
поликлиники №8 г. Саратова.
Научные интересы:
применение ММ-волн в медицине,
экологически обусловленная
патология

При поступлении в клинику жаловалась на повышенную раздражительность, потливость, головную боль, нарушение сна (долго не могла заснуть), сжимающие боли в области сердца.

Общее состояние — средней тяжести. Кожа смуглая, с *aspae vulgares*, подкожно-жировая клетчатка расположена равномерно. Рост 168 см, вес 55 кг. Передняя поверхность шеи деформирована в связи со значительным увеличением щитовидной железы; при пальпации выявляется увеличение обеих долей и перешейка, безболезненных, подвижных при глотании.

УЗИ щитовидной железы (в день поступления): щитовидная железа расположена обычно. Объем правой доли 20 мл, левой — 19,8 мл, суммарно — 39,8 мл. Перешеек шириной 6 мм. Эхоплотность щитовидной железы неоднородная за счет гипэхогенных включений. Очаговых образований нет.

Заключение: диффузное увеличение щитовидной железы III–IV степени.

В тот же день проведена тонкоигольная пункционная биопсия щитовидной железы (по 3 пункции в каждой доле). При цитологическом исследовании в правой доле сегментоядерных клеток 4–5, лимфоцитов 7–16, тиреоцитов 2–4. В левой доле сегментоядерных клеток 1–2, лимфоцитов 2–3, тиреоцитов 3. Признаков клеточного атипии нет.

Гормональный профиль сыворотки крови: T_3 — 4,1 нмоль/л, T_4 — 66,7 нмоль/л, ТТГ — 2,6 мкЕД/л.

При дальнейшем обследовании патологических изменений систем органов дыхания, пищеварения, опорно-двигательного аппарата не выявлено. Границы сердца соответствуют возрасту. Тоны сердца умеренно приглушены, ЧСС — 92 в минуту, АД — 116/70 мм рт.ст. На ЭКГ ритм синусовый, ЧСС — 62–92 в минуту (синусовая аритмия). Отмечается утолщение зубца R_{I-II} , зубец T_{II} несколько снижен.

Заключение: синусовая аритмия. Нарушение внутрижелудочковой проводимости и обменных процессов в миокарде.

При обследовании мочевыделительной системы отмечена умеренная болезненность в поясничной области. По данным УЗИ почек, справа — чашечно-лоханочная система 14 мм, слева — 19 мм; в положении стоя правая почка подвижна (со смещением на 2 позвонка).

При исследовании периферической крови выявлено уменьшение количества лейкоцитов ($4,1 \times 10^9$ /л) и лимфоцитов (31 %, что соответствует $1,2 \times 10^9$ /л). Это свидетельствовало о наличии вторичного иммунодефицита. При исследовании мочи выявлена лейкоцитурия (7–10 в поле зрения, при пробе по Нечипоренко — 3750 в 1 мл).

С 05.01.1997 г. по 19.01.1997 г. в комплексное лечение введена МВТ (12 сеансов на проекцию щитовидной железы). По окончании курса проведено повторное УЗИ щитовидной железы. Обе доли органа уменьшились в размерах: правая — до 6,7 мл, левая — до 8,4 мл, суммарно — до 15,1 мл. Структура паренхимы железы однородная, эхоплотность неоднородная за счет включения участков пониженной плотности.

Заключение: диффузное увеличение щитовидной железы II степени.



Повторный курс МВТ проведен через месяц, с 17.02 по 28.02.1997 г. (11 сеансов). По окончании проведен повторный УЗИ-контроль. Перед началом второго курса лечения объем щитовидной железы составлял 10,34 мл; отмечалась средняя эхоплотность паренхимы органа, эхоструктура диффузно неоднородная. В результате курса лечения объем щитовидной железы составил 9,3 мл. В этот же период проводилась МВТ на проекцию обеих почек. При исследовании мочи в феврале 1997 г. патологических изменений не было выявлено. При анализе периферической крови отмечено повышение количества лейкоцитов до $8,3 \times 10^9/\text{л}$. В то же время количество лимфоцитов оставалось сниженным — 15%, что соответствует $1,25 \times 10^9/\text{л}$.

Значительно улучшились показатели электрокардиографического исследования: ритм синусовый, 63—70 в минуту, T_{II} умеренно снижен. **З а к л ю ч е н и е:** вертикальное положение электрической оси сердца; нерезко выраженные нарушения обменных процессов в миокарде.

При проведении УЗИ органов брюшной полости выявлена аномалия развития — перетяжка желчного пузыря.

Таким образом, включение МВТ в комплексное лечение полиорганной патологии у ребенка позволило добиться положительной динамики двух заболеваний. Можно предположить, что патология сердечно-сосудистой системы была непосредственно связана с наличием значительного увеличения щитовидной железы, и улучшение электрокардиографических показателей связано с успешной терапией эндокринной патологии.

Следующее наблюдение иллюстрирует возможность эффективного применения МВТ при наличии нескольких заболеваний на фоне тяжелой генетической отягощенности по заболеваниям эндокринной системы и злокачественным опухолям, когда удалось добиться положительных сдвигов в лечении каждой из нозологий.

- **Больная Ольга П.** (16 лет). Из семейной легенды видно, что мать больной страдает ожирением III степени; родной дядя по материнской линии умер от рака желудка, дед по материнской линии — от рака мочевого пузыря. У бабушки по материнской линии диагностирована желчнокаменная болезнь. Бабушка по отцовской линии была больна сахарным диабетом и раком легких, послужившим причиной ее смерти. Дед по отцовской линии умер от рака желудка. У двоюродной сестры по отцовской линии диагностирован узловой зоб.

Больная постоянно проживает в промышленном районе областного центра, где имеются массивные урбаногенные загрязнения. В марте 1996 г. в возрасте 16 лет девочка стала жаловаться на неприятные ощущения в правой молочной железе и чувство сдавления в области шеи, удушья, особенно в положении лежа. Участковый врач выявил у нее диффузное увеличение щитовидной железы, и 15.04.1996 г. она была госпитализирована в клинику пропедевтики детских болезней СГМУ (история болезни №3357).

При объективном обследовании у с т а н о в л е н о: общее состояние средней тяжести, вес 68 кг при росте 167 см. Кожа смуглая, отмечается гиперпигментация в подмышечных впадинах и на шее ("грязная шея"). На ягодицах белые полосы растяжения.



Владимир Владимирович Фёдоров — клин. ординатор каф. пропедевтики детских болезней СГМУ.

Научные интересы: применение ММ-волн в медицине, экологически обусловленная патология, педиатрия, спортивная медицина



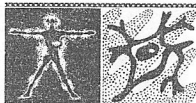
Елена Владимировна Чернова — студ. лечебного фак. СГМУ.

Научные интересы: применение ММ-волн в медицине, экологически обусловленная патология, спортивная медицина



Нина Александровна Маркина — студ. лечебного фак. СГМУ.

Научные интересы: применение ММ-волн в медицине, экологически обусловленная патология, спортивная медицина



Вторичные половые признаки: $A_3P_3Ma_3Me$ — с 12 лет регулярно.

При осмотре выявлено: передняя поверхность шеи деформирована за счет увеличения щитовидной железы, которая подвижна при глотании. При пальпации отмечается увеличение как правой, так и левой доли, имеющих неравномерную консистенцию, с наличием более плотных участков в нижнем полюсе правой доли. При УЗИ щитовидной железы отмечено нормальное расположение органа; объем правой доли 11,2 мл, левой — 11,9 мл (суммарно 23,1 мл при возрастной норме 10—15 мл), толщина перешейка — 4 мм. Структура паренхимы железы неоднородна за счет гипер- и гипоэхогенных включений.

При пальпации молочных желез выявлены латерально расположенные участки уплотнения (в обеих железах) с нечеткими контурами, умеренно болезненные (больше справа). Размеры образований приблизительно 40×60 мм в обеих железах.

Клинический диагноз: диффузно-узловатое увеличение щитовидной железы; двусторонняя мастопатия? Двусторонний аденоматоз молочных желез?

В общем анализе крови были, в частности, такие данные: лейкоцитов — $3,4 \times 10^9$ /л; эозинофилов — 4 %, палочкоядерных — 2 %, сегментоядерных — 60 %, лимфоцитов — 32 %, моноцитов — 2 %. При переводе в абсолютные величины видно, что лимфоцитов было меньше $1,0 \times 10^9$ /л, что отражает иммунодефицитное состояние. При биохимическом исследовании сыворотки крови выявлялась гипогаммаглобулинемия.

Девочка была направлена на консультацию в маммологический центр онкологического стационара, где 24.04.1996 г. было дано з а к л ю ч е н и е : двусторонняя железистая мастопатия. Рекомендована повторная консультация через 6 месяцев.

После обследования в онкологическом центре было принято решение провести МВТ на проекцию щитовидной железы и обе молочные железы (65,0 ГГц, по 20 мин.). С апреля по июнь 1996 г. проведен 21 сеанс (каждый раз с рупорным облучением трех зон: молочных желез — отдельно и щитовидной железы). Уже после 7-го сеанса МВТ больная отметила исчезновение болевого синдрома, а при пальпаторном исследовании перестали определяться уплотнения в молочных железах.

К началу июня 1996 г. исчез и синдром сдавления (“удушье”). Щитовидная железа уменьшилась в размерах, консистенция ее стала эластичной, перестала определяться ее неравномерность.

После курса МВТ при обследовании у гинеколога и онколога (15.06.1996 г.) каких-либо патологических изменений в молочных железах не выявлялось.

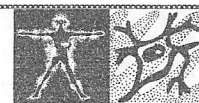
При исследовании гормонального профиля сыворотки крови 16.04.1996 г. были получены следующие результаты: T_3 — 4,18 нмоль/л, T_4 — 90,1 нмоль/л, ТТГ — 1,91 мкЕД/л. При повторном исследовании периферической крови установлено нарастание количества лейкоцитов (с $3,7 \times 10^9$ /л до $5,5 \times 10^9$ /л), увеличение количества лимфоцитов до нормальных возрастных показателей.

16.10.1996 г. больная вновь госпитализирована в клинику пропедевтики детских болезней СГМУ в связи с жалобами на боли в эпигастральной области, болезненность при пальпации и перкуссии.

23.10.1996 г. была проведена эзофагогастродуоденоскопия. Выявлено, что слизистая оболочка пищевода и тела желудка без патологических изменений, а слизистая оболочка антрума умеренно гиперемирована и разрыхлена, слизистая оболочка двенадцатиперстной кишки отечна, гиперемирована, разрыхлена. Здесь отмечалось также наличие единичных плоских эрозий размерами 0,3 — 0,4 см, покрытых мутным экссудатом.

З а к л ю ч е н и е : антральный гастрит II степени активности, бульбит III степени активности. Было назначено медикаментозное лечение, а с 11.02.1997 г. проведен повторный курс МВТ — на проекции щитовидной железы и эпигастральную область. В результате комплексного лечения болевой синдром значительно уменьшился, а при УЗИ щитовидной железы ее объем составил 15,8 мл, что соответствует верхней границе возрастной нормы; структура паренхимы органа однородная, ее эхо-плотность обычная.

Итак, у девочки пубертатного возраста с неблагоприятным наследственным фоном выявлены полигландулярные нарушения в виде диффузного увеличения щитовидной железы при эутиреоидном состоянии, двусторонняя железистая мастопатия, антральный гастрит, бульбит, вторичный иммунодефицит. В результате включения в комплексное лечение МВТ были достигнуты положительные результаты при каждом из этих заболеваний.



У больных среднего и особенно пожилого возраста сочетанная патология встречалась в различных комбинациях, причем по роду и тяжести заболеваний затруднительно было говорить об основном и сопутствующих заболеваниях.

Наглядным примером эффективности МВТ при наличии нескольких конкурирующих заболеваний может служить следующее наблюдение.

- **Больная Евгения З.** (64 года). Пенсионерка, по профессии закройщица. По данным анамнеза, в течение многих лет страдала токсической аденомой щитовидной железы, в 1970 г. произведена субтотальная резекция щитовидной железы. В течение первых двух лет после операции заместительной терапии гормонами щитовидной железы не получала. В дальнейшем находилась под наблюдением районного эндокринолога в связи с послеоперационным гипотиреозом. Проводилось лечение малыми дозами L-тироксина.

В 1972 г. после медицинского аборта, осложнившегося гнойным воспалительным процессом, перенесла удаление матки и придатков, после чего длительно сохранялась субфебрильная температура с отдельными приступами фебрильной лихорадки, причины которой длительно (в течение 6 месяцев) не удавалось выявить. Наконец, на правом бедре появились припухлость, гиперемия, резкая болезненность. Был диагностирован остеомиелит правого бедра. Произведена операция, после которой сформировался свищ, наступила хронизация воспалительного процесса. Были произведены многочисленные повторные операции — чистка костной ткани. На внутренней поверхности правого бедра образовались келоидные рубцы.

В Саратовском НИИ травматологии и ортопедии был также установлен **д и а г н о з**: остеохондроз шейного и поясничного отделов позвоночника.

В 1992 г. больной была определена вторая группа инвалидности.

При первом обращении (13.09.1995 г.) больная предъявляла жалобы на повышенную утомляемость, периодически — сердцебиение, боль в правой ноге, головную боль. АД в разные дни было 156/88, 160/90, 210/120, 240/140 мм рт. ст.

При пальпации участка шеи соответственно проекции оперированной щитовидной железы определялось плотное образование, которое было расценено как рецидив зоба(?) либо же как соединительно-тканый послеоперационный рубец.

Если при исследовании гормонального профиля сыворотки крови от 10.01.1994 г. уровень T_3 составлял 1,4 нмоль/л, T_4 — 77 нмоль/л, то в исследовании от 31.01.1995 г. отмечается повышение T_3 до 4,6 нмоль/л, T_4 — до 184 нмоль/л, что свидетельствовало о рецидиве тиреоидной патологии.

У **З И щ и т о в и д н о й ж е л е з ы** от 20.03.1995 г.: щитовидная железа расположена обычно, форма ее асимметричная. Правая доля $18 \times 19 \times 36$ мм, объемом 5,9 мл; левая — $9 \times 5 \times 15$ мм, объемом 3,2 мл, суммарно — 9,1 мл. Перешеек толщиной 0,4 см. Структура долей и перешейка гипозохогенная. В левой доле фиброзные изменения (послеоперационные). В верхнем полюсе правой доли — гиперэхогенный узел размером $13 \times 11 \times 8$ мм с неправильным гипозохогенным контуром.

З а к л ю ч е н и е: рецидив узлового зоба.

МВТ проводилась на плотные келоидные рубцы и остеомиелитический свищ на внутренней поверхности правого бедра, а также на проекцию щитовидной железы.

Через 5 сеансов МВТ консистенция ткани передней поверхности шеи справа изменилась от плотноэластичной до эластичной, без четких контуров; слева стали пальпаторно определяться лимфатические узлы диаметром 15—20 мм. Боли в правой ноге на месте перенесенных операций по поводу остеомиелита уменьшились. По истечении 10-го сеанса боли в правой ноге прекратились. После паузы в лечении, связанной с острой вирусной респираторной инфекцией, протекавшей (в отличие от привычного для больной тяжелого течения) сравнительно легко, без повышения температуры, кратковременно, МВТ была приостановлена на летний период.

Лето 1995 г. прошло благополучно: свищ на бедре не открывался, болей не было, ткань келоидного рубца стала несколько менее плотной.

В сентябре 1995 г. был начат повторный курс МВТ. Продолжалось рупорное облучение проекции щитовидной железы и послеоперационного рубца на правом бедре. Исчезла отечность мягких тканей правой ноги, больная могла пользоваться обычной обувью.

Через 10 сеансов повторного лечения была начата МВТ шейного и поясничного отделов позвоночника.



По ходу курса МВТ боль в области щитовидной железы не возобновлялась. Несмотря на колебания АД, оно уже не достигало высокого уровня и находилось в пределах 120/80—50/70 мм рт.ст.

Консультация хирурга подтвердила, что обострения остеомиелита в 1995 г. не было. Консультация эндокринолога отметила благополучное течение в анамнезе послеоперационного периода (после вмешательства на щитовидной железе). При исследовании гормонального профиля сыворотки крови в этот период уровень T_3 был 2,2 нмоль/л, T_4 — 92 нмоль/л.

УЗИ щитовидной железы от 27.02.1996 г.: щитовидная железа асимметрична; правая доля 19×18×34 мм, объемом 6 мл; левая доля 16×10×39 мм, объемом 7,5 мл. Толщина перешейка 5 мм. Контуры ровные, общая эхогенность пониженная, особенно в правой доле, в которой выявляется узел 18×21×11 мм, объемом 1,2 мл, с повышенной эхоплотностью, а также мелкие округлые гипоэхогенные образования. В перешейке, левой доле объемных образований не выявлено.

Заключение: послеоперационные изменения щитовидной железы.

При пальпации шеи выявить узловое образование не удавалось.

По ходу третьего курса МВТ келоидные рубцы на внутренней поверхности правого бедра стали мягкоэластичной консистенции. Этот курс лечения был закончен в апреле 1996 г. В связи с тем, что по его окончании уменьшились также и болевые ощущения в шейном и поясничном отделах позвоночника, представляется возможным говорить об успешном применении МВТ не только при послеоперационных изменениях щитовидной железы и хронических воспалительных процессах с наличием послеоперационных келоидных рубцов, но и при остеохондрозе.

В 1997 г. проведены профилактическое обследование и поддерживающий курс МВТ. У больной сохранялось удовлетворительное состояние (за исключением повторявшихся подъемов АД).

Данное наблюдение — пример успешного применения МВТ при длительно текущих воспалительных заболеваниях и тяжелой эндокринной патологии в сочетании с поражением сердечно-сосудистой системы. Следует специально отметить зна-

чительное улучшение общего состояния и самочувствия больной.

Не менее показательным примером использования МВТ в качестве эффективной паллиативной терапии при наличии у пациента нескольких конкурирующих заболеваний может служить следующее наблюдение.

- Больной **Василий М.** (74 года). В течение длительного времени пациент страдает бронхиальной астмой, тромбозом с тромбозом глубоких вен обеих ног. На внутренней поверхности правого бедра выявлены склероз и непроходимость глубоких вен. В области обоих голеностопных суставов имелись трофические язвы (более глубокая — на правой ноге).

В течение более 15 лет больной страдает ишемической болезнью сердца, что затрудняет дифференциальную диагностику между "сердцем астматика" при бронхиальной астме и синдромом с первичным поражением сердечно-сосудистой системы при атеросклерозе.

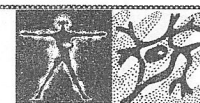
Кроме того, больной страдает почечно-каменной болезнью и простатитом.

Первый курс МВТ проводился на проекцию тимуса и (параллельно) на область трофических язв. Продолжительность облучения каждой из проекций составляла 30—60 мин. Проекция почек, простаты не облучалась. Использовались частоты 50,3 и 51,8 ГГц. После 4-го сеанса (эти сеансы проводились по 2 раза в неделю) трофические язвы на обеих ногах эпителизировались. После 4—6 сеансов изменился характер приступов бронхиальной астмы. Если раньше они были продолжительными, очень тяжелыми (в течение всей ночи, почти ежедневно), требовавшими применения массивной медикаментозной терапии — стероидных гормонов, эуфиллина внутривенно, то уже в ходе курса МВТ эти приступы стали кратковременными и протекали значительно легче. После 10—12 сеансов МВТ они стали более редкими.

Через два месяца был проведен повторный курс МВТ. Отметим, что к моменту начала этого курса трофические язвы оставались эпителизованными, а приступы бронхиальной астмы — редкими и кратковременными.

Еще через год трофические язвы на голенях оставались эпителизованными, а приступы бронхиальной астмы — редкими и кратковременными.

Специально отметим, что при воздействии МВТ на тромбоз вен терапевтического эффекта достигнуть не удалось.



У жены больного, Евгении М. (1931 г.р.), через 4 сеанса МВТ был купирован болевой синдром, обусловленный остеохондрозом поясничного отдела позвоночника. По данным анамнеза, в течение года болевой синдром не возобновлялся.

У больных старшей возрастной группы с длительным течением сочетанной патологии, вызвавшим грубые, зачастую необратимые морфологические изменения в тканях, добиться стойкой ремиссии удается не всегда, однако у пожилых больных при артрозах, артритах через несколько сеансов купируется болевой синдром, уменьшается отечность суставов, что позволяет им значительно расширить двигательную активность.

Заключение

Итак, совместными исследованиями радиофизиков и врачей разработан и внедрен в практику новый ненагрузочный, неинвазивный метод лечения — МВТ. На основании практики применения МВТ в лечебно-профилактической работе СГМУ и ТОО «Научно-лечебный центр физики и новых методов

медицины» можно сделать обоснованные выводы о возможности ее успешного применения в комплексном лечении широкого спектра сочетанной, в том числе хронической, соматической патологии у больных разных возрастных групп. Есть достаточные основания для того, чтобы говорить о модулирующем действии молекулярно-волновой КВЧ-терапии на медикаментозное лечение.

Отрицательных побочных явлений при проведении МВТ не наблюдались ни в одной возрастной группе, независимо от тяжести сочетанной патологии.

На основании наших клинических данных наиболее эффективным является проведение ежедневных сеансов МВТ. При хроническом течении сочетанной патологии показано индивидуальное назначение повторных (иногда многократных) курсов лечения.

Литература

1. Лисенкова Л.А., Максимова Е.А., Гуляев А.И., Фёдорова Л.М. Проблемно-целевой подход к оценке состояния детей, проживающих в крупных промышленных центрах. — Программно-целевой подход в охране материнства и детства. — Тез. доклада Всес. семинара. — Л., 1991.
2. Лисенкова Л.А., Гуляев А.И., Максимова Е.А. и др. Влияние мультифакториального загрязнения окружающей среды на эндокринную систему детей. — IV Всес. конференция «Эндокринная система организма и вредные факторы окружающей среды». — Л., 1991.
3. Лисенкова Л.А., Максимова Е.А., Глухова Т.В. и др. Тиреоидная патология у детей, проживающих в зоне ядерной катастрофы и зонах мультифакториального загрязнения. — II Всерос. съезд эндокринологов. Тез. докл. — Челябинск, 1991.
4. Лисенкова Л.А., Максимова Е.А., Гуляев А.И. Эндемический зоб у детей: решенные и нерешенные проблемы. — Современные проблемы медицинской науки. Материалы научно-практической конференции по законченным научным исследованиям. — Саратов: СГМУ, 1994.
5. Lisenkova L.A., Shcheplyagina L.A., Bolotova N.V. et al. The Frequency of Immunopathological Disturbances in Children Thyroid Pathology in the Goitrogenous Region. — Intern. Journal of Immunorehabilitation. Abstracts of the I International Congress of Immunorehabilitation, 1994, №1.
6. Лисенкова Л.А., Петросян В.И., Житенёва Э.А. и др. Применение методов спектрально-волновой терапии при тиреоидной патологии. — Миллиметровые волны в медицине и биологии. 10 Росс. симп. с межд. участием. — Сборник докладов. — М.: ИРЭ РАН, 1995.
7. Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А. и др. Физика взаимодействия ММ-волн с биологическими объектами. — Миллиметровые волны в медицине и биологии. 10 Росс. симп. с межд. участием. — Сборник докладов. — М.: ИРЭ РАН, 1995.
8. Петросян В.И., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В. и др. Физика взаимодействия миллиметровых волн с объектами различной природы. — Биомедицинская радиоэлектроника, №3 в ж. Радиотехника, 1996, №9.
9. Гуляев А.И., Лисенкова Л.А., Киричук В.Ф. и др. КВЧ-диагностика и КВЧ-терапия как способ реабилитации и повышения работоспособности студентов. — Преподавание в медицинском вузе вопросов профилактики здоровья и его реабилитации. Тез. докл. межрег. научно-практической конференции. — Пермь, 1996.
10. Гуляев А.И., Петросян В.И., Лисенкова Л.А. и др. Теория и практика спектрально-волновой диагностики и прецизионно-волновой терапии. — Биомедицинская радиоэлектроника, №3 в ж. Радиотехника, 1996, №9.

Поступила 16 мая 1998 г.



Лазерная клиническая диагностика как одно из перспективных направлений биомедицинской радиоэлектроники

Д.А.Рогаткин



**Дмитрий Алексеевич
Рогаткин —**

к.ф.-м.н., с.н.с. МОНИКИ,
доц. МГИЭМ.

*Научные интересы:
проблемы развития лазерной
неинвазивной диагностики в
клинической практике, разработка
соответствующих приборов
и методик и их
физико-математическое
обоснование*

Дан краткий обзор современных достижений лазерной неинвазивной клинической диагностики; показаны перспективы ее развития и тесная связь с проблемами физики, математики и радиоэлектронного приборостроения, образующих совместно с биологией и медициной фундамент будущего нового комплексного научного направления — медицинской физики.

In this paper the short review of up-to-date achievements of the laser noninvasive clinical diagnostic is presented. perspectives of development and the intimate connection of it with problems of physics, mathematics and radioelectronical device design, wich are, with biology and medicine, the foundation of the new future complex direction of science — the medical physics — are explained.

Современную мировую медицину уже невозможно представить без использования разнообразного радиоэлектронного и оптического оборудования — от источников питания, линз, электродов и световодов до видеокамер, компьютеров и лазерных скальпелей. В подавляющем большинстве случаев на первое место сегодня выходят методы диагностики и лечения, минимизирующие инвазивность, фармахимизм и другие экологически и психологически нежелательные воздействия на организм пациента. Кроме того, увеличение численности и заболеваемости населения во всем мире увеличивает нагрузку на медицинский персонал клиник и выдвигает на первое место медицинские технологии, обладающие максимальным эффектом при минимальной затрате времени. Этим требованиям в полной мере отвечают новейшие лазерные клинические методы диагностики и лечения, которые стали появляться в последнее время во многих ведущих странах мира и, в первую очередь, в России. Причем, если лазерные методы лечения в основной своей массе уже достаточно хорошо отработаны и используются по всему миру [1, 2 и др.], то методы лазерной диагностики продолжают оставаться очень интересной и сложной научной проблемой.

В основе применения лазерных методов диагностики в медицине лежит тот факт, что все органические макромолекулы (белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды), все основные форменные элементы крови, а также большинство жирных и аминокислот, нуклеотидов и их предшественников и другие биохимические компоненты клеточных и внутриядерных субстратов обладают характерными "индивидуальными" спектрами оптического поглощения, отражения, рассеяния и люминесценции. Эти спектры различны для окисленного и восстановленного состояния молекулярных компонентов, а соотношение различных форм этих компонентов и их объемная концентрация в исследуемой области определяются общей функциональной активностью раз-



личных клеточных структур и органов, в том числе в немалой степени и клеток (форменных элементов) крови. Это отражается на общих (интегральных) оптических свойствах тканей, которые могут быть зарегистрированы методами лазерного спектрального анализа (ЛСА), лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), фотоплетизмографии (ФПГ) или, в простейшем варианте, путем измерения интенсивности отраженного тканью излучения на выбранных длинах волн лазерной биоспектрофотометрии (ЛБФ). Кроме того, на интегральные оптические свойства тканей существенное влияние оказывает и пространственная морфология оптических неоднородностей в ткани (клеточных мембран, эпителиальных и эндотелиальных клеточных слоев), а также изменение электрических, реологических и других физико-химических параметров и свойств, что открывает широкие возможности для изучения оптическими методами тканевой трофики и морфологии, периферической гемодинамики, взаимосвязи общих функциональных и системных расстройств с нарушением местных катаболических и синтетических клеточных процессов и т.д.

Методы оптических лазерных (ЛБФ, ЛСА и т.п.) измерений существенно отличаются как от современных биомикроскопических и биохимических лабораторных исследований, так и от исследований с помощью ультразвуковых волн, рентгеновского излучения, кардиографии и других дифференциальных и функциональных методов диагностики. Биохимические и биомикроскопические исследования, например, направлены, в основном, на дифференциальную диагностику отклонений различных показателей (РОЭ, гемоглобин, белок) от некоторого опорного значения, принятого за норму, и опираются на представления о прямой зависимости состояния и функционирования живых тканей и органов от их клеточной и молекулярной структуры. Исследования с помощью ультразвука и рентгена позволяют, главным образом, наблюдать структурные и морфологические особенности крупных органов и костного скелета. Кардиография дает возможность отслеживать функциональные изменения в сердечно-сосудистой системе и т.д. Таким образом, наблюдается определенная специфика в методах диагностики с соответствующей разницей в методологических подходах и аппаратном оснащении. В этом смысле лазерная диагностика может занять промежуточное и объединяющее положение, поскольку, опираясь на исследования биохимического и клеточного состава ткани в целях дифференциальной диагностики, может поставить и обратную задачу изучения вза-

имоотношения нижележащих уровней системы с вышестоящими уровнями (органным, системным и уровнем целого организма), что свойственно функциональной диагностике [3]. Более того, лазерные методы не требуют расходных лабораторных препаратов, неинвазивны и асептичны, являются существенно более дешевыми, особенно в сравнении с рентгеновскими и томографическими исследованиями, и позволяют получать результат практически в реальном масштабе времени, что дает возможность прямо в процессе лечения объективно отслеживать динамику показателей и вносить соответствующие изменения в методики отпускаемых процедур, т.е. проводить и мониторинговую диагностику теми же самыми методами и аппаратурой.

Исторически, на твердую научную основу исследования по биологической оптике были поставлены после работ основателей фотометрии в VIII в. (P.Booger, 1740 г.; J.Lambert, 1750 г.). В течение XIX в. был накоплен достаточно большой качественный материал, связанный, прежде всего, с изучением зрительного восприятия света и цвета человеком, оценкой в эффективных световых величинах (приведенных к спектральной чувствительности глаза) закономерностей распространения и отражения света для различных материалов и сред.

Первые пробные оптические методы исследования биологических тканей в клиниках стали появляться в начале XX в., когда удалось разработать принципы оптической денситометрии, фотоплетизмографии и флуоресцентной диагностики [4—6]. С начала 60-х годов нашего столетия стал проявляться повышенный интерес к оптическим свойствам мягких биологических тканей и жидкостей, особенно кожных покровов и крови, в связи с появлением лазерной медицины [7, 8]. В первую очередь можно выделить клинические исследования биофотометрических параметров тканей и органов в норме и при различных патологиях [9, 10], что важно в лазерной терапии, а также исследования по флуоресцентной онкологической диагностике с использованием экзогенных фотосенсибилизаторов [11, 12] для целей фотодинамической терапии. Много работ встречается по проблемам неинвазивной оксигеметрии (ОПГ) — определение по спектрам поглощения уровня концентрации кислорода в крови и тканях [13 и др.], и по проблемам определения параметров кровотока и сердечно-сосудистой системы методами ЛДФ и ФПГ [14, 15]. Встречаются даже сообщения на темы инфракрасной внутритканевой визуализации внутренних ор-



ганов [16] и лазерной импульсной томографии [17].

Именно в процессе всех этих исследований отчетливо проявилось то, что разные биологические ткани обладают разными спектральными оптическими свойствами не только в зависимости от длины волны, мощности, поляризации и других характеристик подаваемого лазерного излучения, но также сильно зависят от индивидуальных пигментных особенностей организма и особенностей обменных процессов в нем, наличия или отсутствия патологического процесса в тканях и органах, параметров кровообращения, лимфатического дренажа, кислотно-щелочного баланса, реактивности вегетативной нервной системы, состояния организма в целом, т.е. от индивидуального для каждого пациента функционально-физиологического и патофизиологического состояния тканей, органов и всего организма [9, 18]. Более того, отчетливо проявилась как высокая информативность, так и множественность оптических параметров, пригодных для медико-биологической диагностики (спектральные, пространственные, энергетические), которые могли бы служить основой не просто новых методов диагностики, а хорошим информационным и методологическим базисом для комплексной многофакторной лазерной диагностики, как нового научного направления в медицине.

Например, очень информативна регистрация нелинейных оптических эффектов в тканях и крови, связанных со спектральной селективностью молекулярного поглощения и явлением наведенной и эндогенной флуоресценции [19]. Диагностика по эндогенной (природной) флуоресценции основана на регистрации свечений природных флуорохромов (витамины, порфирины, различные бактерии, хроматин), всегда присутствующих в тканях и крови. В ультрафиолетовой области спектра (330...350 нм) флуоресценция обусловлена, видимо, свечением некоторых белков [3]. В синей и желто-зеленой области большая доля флуоресценции приходится на различные формы пиридиннуклеотидов (НАДН и НАДФН) и флавопротеинов (ФП). Большинство нарушений клеточного метаболизма заметно отражаются в динамике различных форм НАДН, НАДФ и ФП, что может быть зарегистрировано методами ЛСА. Очень сильной фотоактивностью и флуоресценцией в красной области спектра (630...670 нм) отличаются порфирины. Известна, например, связанная с ними сильная полоса поглощения в области 400 нм у гемоглобина (полоса *Soret*), вошедшая во все учебники по физиологии. Кроме того, оксигемоглобин (связанный

с кислородом гемоглобин HbO_2) и восстановленный гемоглобин (Hb) имеют также различные полосы поглощения, хорошо известные в физиологии (по крайней мере, для гемолизированной крови) [20]. Например, на длинах волн 430, 586 и 850 нм поглощение света оксигемоглобином и восстановленным гемоглобином крови практически одинаково. Это так называемые изобестические точки, которые выгодно использовать в качестве реперных. Проводя измерения на промежуточных длинах волн в сочетании с измерениями на двух изобестических точках, можно определить процент оксигенированной крови. Также существует возможность регистрации процентного содержания в крови метгемоглобина, биллирубина и других составляющих. Любые изменения содержания HbO_2 , например, важно отслеживать при патологиях сердечно-сосудистой системы и органов дыхания, тканевой гипоксии, наличии мышечных и общих эмоционально-физических перегрузках, различных воспалительных процессах в тканях и органах. Диагностика общего содержания гемоглобина в эритроцитах, гематокрита крови и скорости капиллярного кровотока необходимы при уточнении этиологии анемии. Флуоресценция клеточного инфильтрата и некротических тканей позволяет отслеживать динамику воспалительных процессов в тканях и скорость заживления послеоперационных ран, а флуоресценция ферментов опухолей (например, коллагеназы) поможет при определении злокачественности новообразования и т.д.

Возможна и оценка нервнорефлекторных возможностей организма. Для этого в методики лазерной диагностики могут быть включены исследования динамики оптических свойств тканей при действии различных условных раздражителей (холод, фармапрепараты, лазерное излучение и т.п.). При этом можно оценить как абсолютную амплитуду ответной реакции организма так и ее продолжительность, время латентного периода и ряд других параметров. Например [21], большой латентный период на ярко выраженный условный раздражитель будет свидетельствовать о повышении порога возбуждения вазомоторного центра. Открывается хорошая возможность дифференцировать органические и функциональные расстройства периферического кровообращения и периферической нервной системы.

Нельзя, конечно, утверждать, что возможности лазерной диагностики безграничны. Не получает, например, сегодня подтверждения в наших работах идея дифференциальной флуоресцентной диагностики в онкологии, основанной на гипотезе связи



пролиферативной клеточной активности с концентрацией в тканях эндогенных порфиринов [22]. К сожалению, опыт обследования примерно 100 пациентов с различными формами злокачественных новообразований говорит о неспецифичности спектров эндогенной флуоресценции в красной области спектра и слабой связи интенсивности флуоресценции с пролиферативной клеточной активностью. Более того, около 50 % всех обследованных локализаций вообще не обладали выраженной флуоресценцией при возбуждении красным светом гелий-неонового или полупроводникового лазеров. А если еще принять во внимание и гипотезу о том, что основную массу любой опухоли составляют неразмножающиеся клетки, находящиеся в G0-фазе, состоянии некробиоза или зоне некроза, и что лишь небольшой стволовый пул (клон) клеток опухоли интенсивно делится [23], то можно, видимо, сделать вывод о необходимости поиска других оптических параметров для решения данной проблемы.

Однако это несколько не уменьшает общей значимости лазерных методов диагностики. Даже отвлекаясь от количественных показателей, очень перспективным приложением можно считать регистрацию динамики лазерных спектрограмм непосредственно во время или сразу по окончании медицинских процедур (гастроскопия, дистанционная гамма-терапия (ДГТ), интраоперационная диагностика и т.п.). В этом случае можно наблюдать динамику процесса лечения пациента и его чувствительность к действию того или иного метода терапии, например, для дальнейшего выбора и оценки режима лазерной терапии язв желудка или фракционирования режима ДГТ в онкологии [24, 25].

К сожалению, во всех перечисленных выше исследованиях, методиках и их прогнозируемых перспективных практических приложениях отсутствует общий системный подход к проблеме, что не позволяло до последнего времени говорить о единой диагностической технологии. Прослеживается явно частный, прикладной и, в основном, экспериментальный характер исследований. Часто используется разная метрологическая база и терминология. Не развит единый методический подход к исследованиям. Различные явления зачастую обозначаются у разных авторов одними и теми же терминами. Путаются понятия “рассеяние” и “отражение”, “мощность” и “интенсивность”. Например, под понятием “отраженный поток” часто подразумевается и поток, рассеянный тканью в обратном направлении. Недостаточно изучены механиз-

мы изменения оптических свойств при различных органических и функциональных изменениях в тканях и органах для конкретных нозологий. Практически не разработаны еще методы анализа и обработки результатов диагностики, дающие необходимую значимую именно медико-биологическую, а не физико-техническую информацию, как это делается в настоящее время для большинства приборов (определяются не очень понятные для врача коэффициенты отражения, интенсивности флуоресценции и т.п. [22]). Диагностические приборы сегодня, по сути, представляют собой не специализированное оборудование, а обычное универсальное лабораторное оборудование, используемое в физике (фотометры, монохроматоры и т.д.), которые не адаптированы и не просчитаны для специфики медицинских приложений. Возможно, именно поэтому результаты разных методов иногда явно противоречат друг другу [26].

Таким образом, подобно тому, как в свое время в физике была выдвинута обобщающая программа по единой теории поля (Эрлангенская программа Ф.Клейна), в настоящее время явно прослеживается актуальность постановки некоторой обобщающей научной программы по лазерной медицинской диагностике, которая позволила бы осуществить объективно назревший качественный переход от разрозненных исследовательских диагностических лазерных приборов и программ к созданию полноценной новой отрасли медицинской диагностики. Результатом этой программы, предусматривающей полный цикл работ от сбора и анализа всех существующих данных по оптическим методам диагностики до разработки на их основе единых метрологических и методических подходов к диагностике, стало бы объединение всех существующих лазерных методов диагностики в единое диагностическое направление и создание на основе имеющихся отдельных приборов и устройств универсальных лазерных диагностических комплексов, которые могли бы широко использоваться в повседневной клинической практике наряду с УЗИ, рентгеновской и ЯМР томографией, лабораторными анализами и т.п.

Такая программа (Программа “ЛОД”) была несколько лет назад сформулирована [27–29]. Поскольку эта задача под силу лишь достаточно широкой кооперации научных медицинских и инженерных коллективов, кроме лаборатории лазерной медицины МОНИКИ, в нее вошли следующие ведущие российские предприятия: НПО “ПОЛЮС”, МГИЭМ, ОНЦ РАН, ИВТ РАН и др.



Например, в МГИЭМ на кафедре ЛМИС (Лазерные и микроволновые информационные системы) по этой проблематике под руководством проф. В.В.Черного и зав. кафедрой, проф. А.С.Черкасова создана целая специализация "Лазерные медицинские приборы" для студентов 4- и 5-го курсов в рамках общей специальности 200300 "Электронные приборы и устройства". Студенты этой специализации изучают как технические, так и общемедицинские предметы — физиологию, анатомию, введение в лечебное дело и т.п., а также осваивают специальные методы клинической научно-исследовательской работы в лечебных учреждениях Москвы. Это своего рода будущие уникальные специалисты с двумя высшими образованиями, которым предстоит внедрять в практику и осваивать новые лазерные диагностические технологии.

Как ни странно, но оказалось, что более половины обозначенных в Программе нерешенных научных проблем относятся больше к радиоэлектронике, оптике, физике и математике, чем к биологии и медицине. Ядро Программы составляют задачи создания единого системного и методического подхода к проблеме, разработки специального междисциплинарного понятийного аппарата и специальных методов обработки результатов диагностики, переводящих физические и технические термины (коэффициент поглощения, сдвиг частоты) в термины, понятные и необходимые врачам (глубина инвазии, концентрация фермента, величина гематокрита и т.д.) и, конечно, задачи определения наиболее информативных морфологических и молекулярных компонентов для проведения дифференциальной лазерной диагностики при конкретных патологиях и поиск путей получения дополнительной диагностической информации, которая достоверно позволяет вырабатывать стратегию и тактику лечения больного и объективно контролировать этот процесс.

Очень много места в Программе отводится проблемам создания оптимального и дешевого оптико-электронного оборудования. Поскольку с точки зрения аппаратного оснащения все лазерные диагностические приборы достаточно подобны (т.е. все содержат источники излучения, оптический тракт, приемники излучения и электронные усилители), и вся разница между ними заключается, главным образом, в способах обработки и анализа сигналов с фотоприемников, то задачи разработки оборудования условно можно разделить на два основных направления. Во-первых, необходимо проработать вопросы унификации и минимиза-

ции используемого оптико-электронного оборудования и создания на этой основе универсальных лазерных диагностических комплексов, реализующих одновременно все или большинство из разработанных методов диагностики. Сюда же можно отнести и вопросы повышения помехоустойчивости оптических методов диагностики, когда результат зависит от множества посторонних факторов (загрязнение поверхности, фоновый свет, случайные движения пациента), приводящих к необходимости накопления большого количества статистического материала, что крайне неудобно в клинике; вопросы создания компактных и надежных специализированных источников лазерного излучения и вопросы удешевления всего используемого оборудования. Причем все аппаратное оснащение должно быть специально оптимизировано и адаптировано под задачи медицинской диагностики, а конкретные технические параметры узлов (апертурные углы, чувствительность, спектральные диапазоны и т.п.) должны быть теоретически просчитаны и серьезно научно обоснованы, например, на основе анализа аналитических решений модельных задач взаимодействия излучения с биологическими тканями, подобно тому, как в технике это было в свое время выполнено для гониофотометров [30].

Во-вторых, для повышения эффективности и упрощения процедуры обработки результатов диагностики, необходимо решить задачу включения в состав комплекса в качестве регистратора управляющего компьютера. Соответственно большой объем работ будет связан с разработкой для него эффективного программного обеспечения. Более того, использование современных быстродействующих компьютеров позволяет построить схему анализа и обработки результатов диагностики по качественно иному принципу, который опробовался нами при разработке макета multifunctional диагностического комплекса "МАРТА" [31], демонстрировавшегося на Международной выставке "LIC Russia'97" в марте и на выставке в Государственной Думе РФ в апреле 1997 г. Этот принцип (или технология) предусматривает постоянное фоновое моделирование процесса взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью для целей вычисления конкретных параметров среды, ответственных за ту или иную комбинацию мгновенных значений сигналов с фотоприемников во всех спектральных диапазонах. Такое моделирование, как оказалось, позволяет не только следить за достоверностью получаемой информации и ее соответствием теоретическим моделям (при большом числе приемников, например, вопрос о взаимной



скоррелированности сигналов является далеко не таким уж простым, и только "интеллектуальное" сравнение с теорией позволяет разобраться в этой информации), но и получать намного больший объем диагностической информации, ограниченный, пожалуй, лишь рамками самой модели. Такая технология получила название "Интеллектуально-го" Фонового Математического моделирования (ИФМ-технология) и позволила на комплексе "МАРТА" одновременно с флуоресцентной, БФМ и ЛФП диагностикой определять такие важные в гематологии параметры, как оксигенацию крови, ее гематокрит, процентное содержание гемоглобина, объемное кровенаполнение и среднюю скорость капиллярного кровотока неинвазивно и в реальном масштабе времени.

И, конечно, огромный простор для исследований составляют задачи собственно теоретического моделирования процесса распространения лазерного излучения в биологических тканях и жидкостях. Как известно, в физике этот класс задач относится к разделам распространения излучения в случайно-рассеивающих средах [32] и дифракции излучения на случайно-шероховатых поверхностях [33]. Несмотря на успешное развитие методов радио- и оптической локации, попадающих в эти же разделы, а также на мощное развитие средств вычислительной математики, реально ощутимых успехов в этой области не так уж и много.

Для большинства практически важных случаев, например в теории рассеяния, аналитических решений до сих пор не найдено, а имеющиеся приближения зачастую оказываются слишком грубыми и мало информативными. Даже наиболее используемое на практике диффузионное приближение не только не удовлетворяет собственным граничным условиям [32], но и имеет в качестве решения для многомерной задачи выражения, содержащие функции Бесселя, которые плохо поддаются аналитическому анализу. Отсутствует и явно напрашивающееся сегодня сопряжение задач теории рассеяния в среде и теории дифракции на границе. А ведь, кроме этого, биологическая ткань является еще и неоднородной, обладает способностью к селективному резонансному поглощению и флуоресценции, возможно к заметной частотной дисперсии и вынужденному комбинационному рассеянию. Кровь и лимфа в тканях далеко не гомогенны, особенно в области воспалений, и имеют определенную скорость движения, что также сказывается на распределении поля излучения внутри ткани. В этом случае необходимы более современные математические модели и методы, не только

учитывающие все эти факты, но и позволяющие проводить аналитический анализ решений задач с целью выработки обоснованных технических требований к диагностической аппаратуре.

Но и эти задачи еще не предел. Если внимательно проанализировать возможности дифференциального и интегрального исчисления в математике, то становится ясно, что подавляющее большинство решений физических задач получено эвристически удачным выбором соответствующих граничных или начальных условий, т.е. во всем возможном пространстве решений априорно фиксируется некоторая малая, правдоподобная область или даже точка. Природа же, безусловно, "поступает" иначе и проявляет существенно более высокую степень организации. Не только конкретные значения напряженностей поля излучения на границе определяют геометрию поля излучения внутри среды, но и непосредственно параметры среды под воздействием внешнего излучения "формируют" соответствующие себе поля на границе. И адекватные математические модели будущего должны давать граничные значения в качестве решения, а не исходных данных. Более того, если иметь в виду задачи лазерной мониторинговой и функциональной диагностики пациентов в клиниках, то становится очевидным наличие различных (индивидуальных) начальных и граничных условий для каждого пациента, например вследствие индивидуальных параметров крови (гемоглобин, рН, гематокрит и т.д.), при сохраняющейся определенной общности в постановке диагностической задачи. Это наводит на мысль о перспективности использования методов хаотической динамики [34] для описания процесса диагностики и его результатов, т.е. о переводе задачи из плоскости функциональной математики в пространство математики динамических процессов, где для анализа поведения сигнала не требуется задание конкретных начальных или граничных условий.

Таким образом, лазерная медицинская диагностика является не просто областью научных медико-биологических исследований. Встающие разнообразные технические и теоретические проблемы и варианты их решений в совокупности могут претендовать в будущем на роль нового фундаментального комплексного научного направления в рамках зарождающегося сегодня симбиоза двух специальностей — медицины и физики (медицинской физики [35]). Уже в начале XX в. ведущими физиками мира предсказывалась такая перспектива [36], как прообраз нового уровня в понимании



законов природы. Однако, последовавшие войны и противостояние политических систем оттянули на долгое время силы ученых в сторону прикладных военных программ. И только теперь появляется реальная надежда осуществить объединение физики, математики, радиоэлектроники и кибернетики с науками о человеке и других живых системах.

Решение задачи о возможности описания живой природы в рамках строгих логических рассуждений, физико-математических моделей и причинно-следственных связей настолько заманчиво, что нельзя исключить ситуацию превращения этого направления в следующем тысячелетии в одну из лидирующих (путеводных) творческих идей для всей науки, как это было в свое время с автомобилестроением, электроникой, квантовой механикой или космическими исследованиями. Однако эта задача настолько необычна, неформализованна, глобальна и трудна, что ее полное решение остается за рамками возможного даже в ближайшем будущем. (Если живая природа вообще допускает такую строгую логику, которой привыкли оперировать физики.) Не исключено, что в основной своей массе методы физики и математики в их современной формулировке просто неприменимы к законам живого, поскольку изначально предполагают существование совокупности однотипных (не различающихся структурно и функционально) элементов (например, электронов) и допускают возможность описания динамики целого в рамках моделей динамики его отдельных, часто идеализированных

частей. Живой организм принципиально не существует и не воспроизводим по частям. Не существует полностью однотипных живых систем, по крайней мере высших. Они различаются, как минимум, особенностями нервной системы, характера и мышления, генетически обусловленной наследственностью и воспитанием, т. е. основными параметрами, регулирующими функционирование самой системы. Поэтому, видимо, для медицинской физики необходимы и в дальнейшем будут разработаны принципиально новые, свойственные исключительно ей методические подходы (как это было, например, в случае с квантовой механикой), которые будут равно далеко отстоять как от классической физики, так и от классической биологии и медицины, и которые позволят создать новый понятийный базис для исследований и определить с присущей физике и математике логикой и однозначностью основополагающие понятия биологии и медицины — гомеостаз, раздражимость, рефлекс, клетка и т.п. Только после этого мы сможем реально осознать, какие огромные перспективы заложены в настоящей науке.

И очень хочется надеяться, что наша страна не окажется в этом поиске на самом последнем месте из-за примитивной недостаточности финансирования, что найдутся-таки высокообразованные и прогрессивно мыслящие спонсоры, способные вкладывать деньги, пусть даже и небольшие, не только ради своей будущей материальной выгоды, но и ради выгоды всего общества в виде настоящих общечеловеческих и духовных ценностей.



Литература

1. Лазеры в клинической медицине: руководство для практических врачей / Под ред. С.Д.Плетнева. — М.: Медицина, 1996.
2. Козлов В.И., Буйлин В.А., Самойлов И.Г., Марков И.И. Основы лазерной физио- и рефлексотерапии. — Самара-Киев, 1993.
3. Гурвич А.А. Проблема митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии. — Л.: Медицина, 1968.
4. Arnold T., Newman E. Densitometres. Medical electronics in Cardiovascular Disease. — New York-London, 1963.
5. Kramer K. et. al. Amer. J. Physiol., 1951, v.165, №1.
6. Tappeiner H., Jesionek A. Therapeutische Versuche mit fluoreszierenden Stoffen. — Muench Med Wochen. 1903, v.50.
7. Karu T.I. Special issue on lasers in biology and medicine. — IEEE G.Quantum Electr., 1987, v.23.
8. Александров М.Т. Основы лазерной клинической биофотометрии. — Сочи: Интермед, 1991.
9. Александров М.Т. Разработка методов лазерной биофотометрии для диагностики и лечения хирургических заболеваний. Дисс. на соискание уч. ст. д.м.н. — М: МОНИКИ, 1992.
10. Евстигнеев А.Р. Разработка технологических основ и приборов для лазерной обработки и диагностики состояния биотканей Автореф. дисс. на соискание уч. ст. к.т.н. — М.: МБТУ, 1985.
11. Wilson B.S., Patterson M.S., Burns M. Effect of photosensitizer concentration in tissue on the penetration depth of photoactivating light. — Lasers Med. Sc., 1986, v.1.
12. Keijzer M., Richrds-Kortum R.R., Feld M.S. Fluorescence spectroscopy of turbid media, autofluorescence of the human aorta. — Appl.Opt., 1989, v.28.



13. Takatani S., Cheung P.W., Ernst E. A Noninvasive Tissue Reflectance oximeter. — Ann. of biomed. Eng., 1980, v.8.
14. Shepherd A.P., Oberg P.A. Laser-Doppler Blood Flowmetry, Kluwer Acad. Pub., Hingham, 1990.
15. Рогаткин Д.А., Ксендзовская Ю.И., Черкасов А.С. и др. Универсальный лазерный фотоплетизмограф. — Свидетельство РФ на полезную модель №97100663/20 (000552) от 14.01.97 г., МКИ 6 А61В 5/0295.
16. BiOS Europe '97. The European Biomedical Optics Week. Abstract Book. — SPIE, San Remo, Italy.
17. Schmitt H.J., Blazek V. System concepts for high resolution optical tomography. — Laser and optoelect., 1995, v.27, №1.
18. Шабаров В.А., Жогун В.Н. и др. Рассеяние оптического излучения биологическими тканями. — ЖПС, 1987, т.47, №5.
19. Кузин М.И., Кузин Н.М. и др. Спектроскопическая диагностика заболеваний желудка на основе флуоресценции эндогенных порфиринов, индуцированной лазером. — Хирургия, 1995, №5.
20. Тучин В.В. Взаимодействие лазерного излучения с биологическими тканями. — Лазерная физика, 1994, вып.3.
21. Мошкевич В.С. Фотоплетизмография. — М.: Медицина, 1970.
22. Самойлов В.О., Барский И.Я., Бигдай Е.В. и др. Прижизненная флоориметрия в физиологии и клинике. — Мед. техника, 1997, №3.
23. Автандилов Г.Г. Компьютерная микротелефотометрия в диагностической гистопатологии. — М.: РМАПО, 1996.
24. Романов Г.А., Александров М.Т., Рогаткин Д.А. и др. Лечебная эндоскопия с применением лазерного излучения в комплексной терапии эрозивно-язвенных поражений верхнего отдела желудочно-кишечного тракта. — Методические рекомендации Министерства Здравоохранения РФ № 96/240 — М.: МОНИКИ, 1997.
25. Поляков П.Ю., Александров М.Т., Быченков О.А. и др. Способ диагностики и лечения онкологических больных. — Свидетельство о выдаче патента РФ №95110907 от 12.06.95 г., МКИ А61 №5/06, А61 №5/10.
26. Оберг А., Тамура Т., Линдберг Л., Салеруд Г. Сравнение лазерной доплеровской флоуметрии и плевтизмографии. — Вестник АМН СССР, 1988, №2.
27. Рогаткин Д.А. Современные возможности и концепция развития лазерной диагностики как одного из перспективных направлений медицины XXI века. — Лазерная медицина, 1998, №3.
28. Rogatkin D.A., Svirin V.N., Tcherkassov A.S. New Trends in Laser Diagnostics / Abstr.book of World Congress on Med. Phys. and Biom. Engineering, Sept. 14–19, 1997, Nice, France // Med. & Biol. Engineering & Computing, v.35, Supp. Part I, 1997.
29. Рогаткин Д.А., Моисеева Л.Г., Барыбин В.Ф., Черный В.В. Современные методы лазерной клинической биоспектрофотометрии. Ч.1. Введение в биофотометрию. Используемые методики и аппаратное оснащение. — М.: Из-во ВИНТИ, 1997.
30. Рогаткин Д.А., Коняхин В.В. К оценке качества гониофотометрических установок. — ПТЭ, 1992, №5.
31. Рогаткин Д.А., Барыбин М.В., Моисеева Л.Г., Свиринов В.Н. Лазерный клинический диагностический комплекс "МАРТА" как новый универсальный метод диагностики. — Тезисы 1-й междунар. конференции "Лазер и Здоровье'97" — М.: Техника, 1997.
32. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно неоднородных средах: Пер. с англ. в 2-х томах. — М.: Мир, 1981.
33. Beckman P., Spizzino A. The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces. — London-NewYork: Pergamon Press, 1963.
34. Пайтген Х.О., Рухтер П.Х. Образы комплексных динамических систем: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993.
35. Материалы Европейской Федерации Организаций по Медицинской Физике (ЕФОМФ) — Медицинская физика, 1996, №3.
36. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое: Пер. с нем. — М.: Наука, 1989.

Поступила 11 ноября 1997 г.



**Владимир Семенович
Кубланов —**

к.т.н., доц., гл. конструктор
конструкторского бюро
"Экологическая и медицинская
аппаратура" (г.Каменск-Уральский).

Научные интересы:
разработка аппаратуры для
мониторинга собственных
электромагнитных полей объектов,
обработки сигналов, моделирования



**Сергей Петрович
Довгопол —**

к.ф.-м.н., доц., зав. каф.
теоретической физики Уральского
государственного педагогического
университета (г.Екатеринбург).

Научные интересы:
физика конденсированного
состояния, явления переноса,
электронные структуры
и магнитные свойства

**Александр Леонидович
Азин —**

д.м.н., проф., зав. лаб. мозгового
кровообращения Свердловского
областного клинического
психоневрологического госпиталя
для ветеранов войн.

Научные интересы:
физиология мозгового
кровообращения

Исследование функционального состояния головного мозга методами многоканальной СВЧ-радиотермографии

В.С.Кубланов, С.П.Довгопол, А.Л.Азин

Проанализированы физические преобразования собственного электромагнитного радиоизлучения в тканях головного мозга; по результатам анализа и экспериментальным измерениям излучения одновременно в нескольких зонах мозга предложена модель излучения в виде комбинации связанных локальных генераторов; определены условия, при которых флуктуации мощности излучения преимущественно отражают процесс тканевой гидродинамики, а их пространственная корреляция количественно характеризует этот процесс; рассмотрены особенности схемотехнического построения многоканального радиотермографа для мониторингирования транспорта жидкости в тканях мозга; приведены основные характеристики многоканального радиотермографа, обеспечивающего прием излучения в диапазоне 650...850 МГц.

The physical transformations of microwave radiation in brain tissues were analysed. Following the results of analysis based on the simultaneous microwave radiation measurements in several brain zones there were proposed the microwave radiation simulation as coupled local oscillators, dispersed in absorbing environment. The conditions under which the power fluctuations of microwave radiation were rated mainly reflecting the fluid transport in brain tissues when their spatial correlation was a quantitative characteristic of the process. Were discussed the design features of multichannel microwave radiothermography equipment for the brain monitoring. There were presented the basic characteristics of multichannel radiothermograph, providing radiation reception in waveband from 650 to 850 MHz. The clinical tests of the radiothermograph and the proposed estimation system of functional brain conditions confirm the advancement of this project.

Введение

Изучение человека по формируемым им физическим полям наиболее адекватно обеспечивается анализом временных последовательностей мгновенных пространственных распределений интенсивностей этих полей. В предложенном Э.Э.Годиком и Ю.В. Гуляевым методе динамического картирования собственного электромагнитного излучения биологических тканей предлагается анализировать распределение теплопродукции и локального кровотока для оценки состояния внутренних органов [1]. Одновременное исследование пространственно-временных изменений радиоизлучения с физиологическими изменениями в биологических тканях позволяет в ряде случаев получить новые представления об исследуемых явлениях.

Физические особенности СВЧ-излучения тканей мозга

С физической точки зрения электромагнитное излучение — следствие флуктуаций микрочарядов и микротоков, порождающих случайные электромагнитные поля. Мощность такого поля в радиодиапазоне в данный момент времени локально на интервале τ_1 определяется приближением Рэлея — Джинса



$$U = \frac{k}{2\pi\lambda^2} \chi T, \quad (1)$$

где χ — коэффициент поглощения среды; T — ее термодинамическая температура; k — постоянная Больцмана; λ — длина волны излучения.

В общем случае на интервале $\tau_2 \gg \tau_1$ мощность теплового излучения биологических тканей является случайной функцией времени (стохастическим процессом) в силу отсутствия строго термодинамического равновесия в них, что обуславливает флуктуации во времени коэффициента излучения $\chi(t)$ и температуры $T(t)$

$$U(t) = \frac{k}{2\pi\lambda^2} \chi(t) T(t). \quad (2)$$

Предположим, что процессы электромагнитного излучения тканей мозга являются квазистационарными и в этом смысле их можно представить в виде

$$T(t) = \bar{T}(t) + \Delta T(t), \quad \chi(t) = \bar{\chi}(t) + \Delta\chi(t). \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получаем

$$\frac{U(t) - \bar{U}(t)}{\bar{U}(t)} = \frac{\Delta\chi(t)}{\bar{\chi}(t)} + \frac{\Delta T(t)}{\bar{T}(t)} + \frac{\Delta\chi(t)}{\bar{\chi}(t)} \frac{\Delta T(t)}{\bar{T}(t)}, \quad (4)$$

где $\bar{T}(t)$, $\bar{\chi}(t)$ — средние значения температуры и коэффициента излучения; $\Delta T(t)$ и $\Delta\chi(t)$ — стационарные случайные процессы на данном интервале τ_2 ; $\bar{U}(t) = \frac{k}{2\pi\lambda^2} \bar{\chi}(t) \bar{T}(t)$ — среднее значение мощности теплового излучения на интервале τ_2 .

Если

$$\begin{aligned} X(t) &\equiv \frac{\Delta\chi(t)}{\bar{\chi}(t)}, \quad Y(t) \equiv \frac{\Delta T(t)}{\bar{T}(t)}, \\ Z(t) &\equiv \frac{\Delta U(t)}{\bar{U}(t)} = \frac{U(t) - \bar{U}(t)}{\bar{U}(t)}, \end{aligned} \quad (5)$$

то ясно, что $|X(t)|$, $|Y(t)|$, $|Z(t)| < 1$, и в первом приближении можно пренебречь малой величиной $X(t) \cdot Y(t)$. Тогда

$$Z(t) \approx X(t) + Y(t). \quad (6)$$

Если предположить, что выражение в правой части (6) есть сумма двух независимых случайных процессов, то, переходя к спектральному разложению

$$Z_\omega = X_\omega + Y_\omega \quad (7)$$

и вводя нормированные спектральные мощности

$$g_x(\omega) = \overline{|X_\omega|^2}, \quad g_y(\omega) = \overline{|Y_\omega|^2}, \quad g_z(\omega) = \overline{|Z_\omega|^2}, \quad (8)$$

из (7) получаем

$$g_z(\omega) = g_x(\omega) + g_y(\omega). \quad (9)$$

В (8) среднее понимается как усреднение на интервале τ_1 или по эквивалентному ансамблю реализаций.

Коэффициент излучения χ определяется диэлектрической проницаемостью ϵ ткани мозга, если считать, что ее магнитная проницаемость $\mu = 1$, и его флуктуации определяются флуктуациями диэлектрической проницаемости [2]. Полагая $\epsilon = \bar{\epsilon} + \Delta\epsilon$, после разложения функции $\chi(\epsilon)$ в ряд Тейлора с точностью до членов первого порядка малости имеем

$$\chi(\epsilon) = \chi(\bar{\epsilon} + \Delta\epsilon) \approx \chi(\bar{\epsilon}) + Q\Delta\epsilon \equiv \bar{\chi} + Q\Delta\epsilon,$$

где Q — некоторая постоянная.

$$\text{Тогда } \Delta\chi = Q\Delta\epsilon \text{ и } X(t) = \frac{Q\Delta\epsilon(t)}{\bar{\chi}},$$

т.е. процесс $X(t)$ полностью определяется флуктуациями диэлектрической проницаемости.

Известно, что диэлектрическая проницаемость биологических тканей существенно зависит от содержания воды. Если количество тканевой жидкости в данной области мозга флуктуирует со временем на интервале τ_2 , то это и определяет физическую природу процесса $X(t)$. Типичные радиотермограммы головного мозга практически здоровых пациентов в состоянии функционального покоя, снятые в клинических условиях, имеют флуктуации излучения с амплитудой от (0,3...0,5) К до (1,0...1,5) К и периодом более 10 с (рис. 1). Как

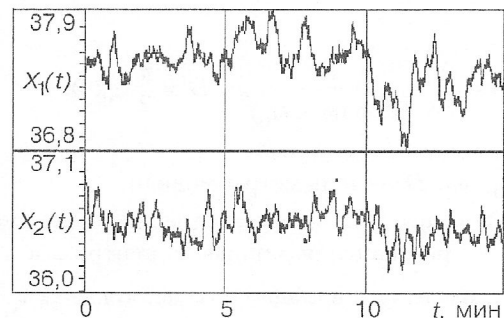


Рис.1. Типичные радиотермограммы излучения головного мозга практически здорового человека в состоянии функционального покоя



делью

правило, этот процесс носит квазипериодический характер и поэтому достаточно строго может быть представлен моделью

$$X(t) = X_0 \cdot \cos [\omega_0 t + \varphi(t)] . \quad (10)$$

Здесь X_0 — амплитуда процесса $X(t)$; ω_0 — его частота (X_0 и ω_0 постоянны на интервале τ_2), а $\varphi(t)$ — случайные флуктуации фазы.

Будем считать, что девиация фазы $\Omega(t) = d\varphi/dt$ является стационарным случайным процессом с нулевым средним $\Omega(t) = 0$ и спектральной интенсивностью $g_\Omega(\omega)$. Тогда ее среднеквадратическое значение можно найти из выражения [3]:

$$\overline{\Omega^2} = \int_0^\infty g_\Omega(\omega) d\omega . \quad (11)$$

Задача нахождения спектральной интенсивности $g_x(\omega)$ процесса (10) в общем случае зависит от явного вида функции $g_\Omega(\omega)$. Если выполняется условие $\overline{\Omega^2} \tau_\Omega \gg 1$ (τ_Ω — время корреляции процесса $\Omega(t)$), т.е. частота процесса (10) имеет большие и медленные изменения, то, как показано в [3],

$$g_x(\omega) = \frac{X_0^2}{2\sqrt{2\pi}\overline{\Omega^2}} \exp \left[-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\overline{\Omega^2}} \right] , \quad (12)$$

и моделируемый процесс имеет гауссовский закон распределения с центром в точке ω_0 и дисперсией $\overline{\Omega^2}$. Величины X_0 , ω_0 и $\overline{\Omega^2}$ — параметры данной модели, определяются из опыта или более детальной физической модели.

При малых по амплитуде и быстрых флуктуациях частоты процесса (10), когда выполняется условие $\overline{\Omega^2} \tau_\Omega \gg 1$ [3], имеем

$$g_x(\omega) = \frac{X_0^2}{2\pi} \frac{D}{D^2 + (\omega - \omega_0)^2} , \quad D = \frac{\pi}{2} g_\Omega(0) , \quad (13)$$

где X_0 , ω_0 , D — параметры модели.

Отметим, что в обоих предельных случаях $g_x(\omega)$ — резонансная кривая с центром в точке $\omega = \omega_0$, поэтому и в общем случае, когда $\overline{\Omega^2} \tau_\Omega \approx 1$, сохранится резонансная форма кривой для $g_x(\omega)$, которая будет некоторой “суперпозицией” гауссовой и лоренцевой функций.

Анализ экспериментальных радиотермограмм головного мозга показал, что наиболее часто реальные процессы адекватны модели (12). Локальные флуктуации температуры на интервале τ_2 процесса $Y(t)$ могут быть вызваны изменением функциональной активности и теплопродукции нейронов и глии в данном участке мозга, локального кровотока и температуры притекающей к мозгу артериальной крови. Локальные флуктуации теплопродукции мозга выравниваются за счет достаточно высокой теплопроводности тканей мозга и активной терморегуляторной реакции. Если исключить сильное переохлаждение и перегревание тела, то по данным экспериментальных измерений амплитуда изменений термодинамической температуры головного мозга человека в термонеutralной зоне не превышает 0,05–0,06 °C, а период их составляет десятки минут [4]. Поэтому выбираем модель процесса $Y(t)$ как суперпозицию импульсов с некоторой “функцией формы” $F(t - t_v)$, включающихся в случайные моменты t_v и имеющих случайные амплитуды Q_v :

$$F(t - t_v) > 0 \text{ при } t \geq t_v ,$$

$$F(t - t_v) = 0 \text{ при } t < t_v .$$

Тогда

$$Y(t) = \sum_v Q_v F(t - t_v) . \quad (14)$$

Предположим, что импульсы имеют экспоненциальную форму и затухают с некоторым временем релаксации τ_0

$$F(t - t_v) = e^{-(t - t_v)/\tau_0} \quad (t - t_v \geq 0) . \quad (15)$$

Если ввести Фурье-образ функции F , т.е.

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{i\omega t} d\omega ,$$

то спектральная плотность процесса (14) определяется выражением [3]

$$g_y(\omega) = 2\pi n_1 \overline{Q^2} |f(\omega)|^2 , \quad (16)$$

где n_1 — среднее число импульсов в единицу времени на интервале τ_2 ; $\overline{Q^2}$ — среднеквадратическое значение амплитуды импульсов на этом же интервале.

Для экспоненциального импульса (15) получим

$$g_y(\omega) = \frac{n_1 \overline{Q^2}}{2\pi} \frac{\tau_0^2}{1 + \omega^2 \tau_0^2} . \quad (17)$$



Если τ_0 достаточно мало, то вплоть до частот, удовлетворяющих условию $\omega\tau_0 \approx 1$, функция $g_y(\omega)$ слабо зависит от частоты и имеет малую амплитуду.

Таким образом, для результирующего процесса $Z(t)$ из (9) получаем

$$g_x(\omega) = \frac{X_0^2}{2\sqrt{2\pi\Omega^2}} e^{-(\omega-\omega_0)^2/2\Omega^2} + \frac{n_1|Q^2|}{2\pi} \frac{\tau_0^2}{1+\omega^2\tau_0^2}, \quad (18)$$

а соответствующая этой спектральной плотности корреляционная функция излучения тканей мозга имеет следующий вид:

$$K_z(t) = X e^{-t^2/\tau_x^2} \cos(\omega_0 t) + n_1|Q^2|\tau_0 e^{-|t|/\tau_0}, \quad (19)$$

$$\tau_x = \frac{1}{\sqrt{2\Omega^2}}.$$

В рамках предлагаемой модели близкий к тепловому шуму процесс $Y(t)$ затухает значительно быстрее, чем квазипериодический процесс $X(t)$, т.е. $\tau_0 \ll \tau_x = (2\Omega^2)^{-0.5}$. Тогда при $\tau \gg \tau_0$

$$K_z(\tau) \approx K_x(\tau) = X_0^2 e^{-\tau^2/\tau_x^2} \cos(\omega_0 \tau). \quad (20)$$

Пространственные корреляционные связи

Исследуем перекрестную корреляцию двух участков 1 и 2, которые в пространстве не пересекаются. Ввиду малости амплитуд флуктуаций импульсные Y -процессы в этом случае можно считать некоррелированными. Поэтому далее будем рассматривать только X -процессы.

Система уравнений для $X_1(t)$ и $X_2(t)$ описывает два связанных осциллятора, подвергающихся случайным толчкам $f_1(t)$ и $f_2(t)$ и имеющих (для простоты) одинаковые средние частоты ω_0 и коэффициент затухания γ :

$$\begin{aligned} \frac{d^2 X_1(t)}{dt^2} + \gamma \frac{dX_1(t)}{dt} + \omega_0^2 X_1(t) + s X_2(t) &= f_1(t), \\ \frac{d^2 X_2(t)}{dt^2} + \gamma \frac{dX_2(t)}{dt} + \omega_0^2 X_2(t) + s X_1(t) &= f_2(t). \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь s — феноменологический коэффициент связи двух участков мозга.

Решая эту систему относительно $\tilde{X}_1(\omega)$ и $\tilde{X}_2(\omega)$, являющимися Фурье-образами исследуемых процессов, получаем

$$\begin{aligned} \langle \tilde{X}_1^*(\omega) \tilde{X}_2^*(\omega) \rangle &= \\ &= \frac{\langle [a^*(\omega) \tilde{f}_1^*(\omega) - s \tilde{f}_2^*(\omega)] [a(\omega) \tilde{f}_2(\omega) - s \tilde{f}_1(\omega)] \rangle}{[a^{*2}(\omega) - s^2][a^2(\omega) - s^2]}. \end{aligned} \quad (22)$$

Если случайные процессы $f_1(t)$ и $f_2(t)$ статистически независимы, и $\langle \tilde{f}_1(\omega) |^2 \rangle = \langle \tilde{f}_2(\omega) |^2 \rangle \equiv \rho(\omega)$, то

$$\begin{aligned} \langle \tilde{X}_1^*(\omega) \tilde{X}_2(\omega) \rangle &= \\ &= 2s\rho(\omega) \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{[a^{*2}(\omega) - s^2][a^2(\omega) - s^2]}, \end{aligned} \quad (23)$$

$$a^*(\omega) + a(\omega) = 2(\omega_0^2 - \omega^2).$$

Модуль кросс-спектра процессов излучения двух участков головного мозга

$$\begin{aligned} G_{12}(\omega) &= |\langle \tilde{X}_1^*(\omega) \tilde{X}_2(\omega) \rangle| = \\ &= 2s\rho(\omega) \frac{|\omega^2 - \omega_0^2|}{[(\omega_0^2 - \omega^2 + s)^2 + \omega^2 \gamma^2][(\omega_0^2 - \omega^2 - s)^2 + \omega^2 \gamma^2]}. \end{aligned} \quad (24)$$

Если предположить, что процессы $f_1(t)$ и $f_2(t)$ являются "белым" шумом, т.е. $\rho(\omega) = \text{const}$ и рассматривать близко расположенные зоны, например, в пределах одного полушария, когда можно пренебречь диссипацией ($\gamma \rightarrow 0$), то спектр (23) имеет два максимума: на частотах $\omega_{01}^2 \approx \omega_0^2 + s$ и $\omega_{02}^2 \approx \omega_0^2 - s$. Чем сильнее корреляционная связь исследуемых процессов, тем больше расстояние между максимумами их кросс-спектра

$$\begin{aligned} \omega_{02} &= \sqrt{\omega_0^2 + s} - \sqrt{\omega_0^2 - s} \approx \\ &\approx \omega_0 \left(1 + \frac{s}{2\omega_0^2} \right) - \omega_0 \left(1 - \frac{s}{2\omega_0^2} \right) = \frac{s}{\omega_0^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

В области средних значений коэффициентов связи ($\omega_0^2 > s > \omega_0^2 - \gamma^2/4$) соответствующая кросс-спектру (23) взаимная корреляционная функция процессов электромагнитного излучения двух не-



пересекающихся участков головного мозга имеет следующий вид:

$$K(\tau) = \frac{\pi D e^{-0,5\gamma\tau}}{4\gamma} \times \left\{ \frac{2p_1 \cdot \cos p_1 \tau + \gamma \cdot \sin p_1 \tau}{p_1(\omega_0^2 + s)} - \frac{\gamma \cdot \operatorname{sh} p_2 \tau + 2p_2 \cdot \operatorname{ch} p_2 \tau}{p_2(\omega_0^2 - s)} \right\}, \quad (26)$$

а коэффициент взаимной корреляции для этих же участков

$$K(0) = -\frac{\pi D}{\gamma} \frac{s}{\omega_0^4 - s^2}. \quad (27)$$

В области сильной связи ($s > \omega_0^2$) взаимная корреляционная функция пространственно-разнесенных участков головного мозга определяется выражением

$$K(\tau) = \frac{\pi D}{4\gamma} \times \left\{ \frac{2p_1 \cdot \cos p_1 \tau + \gamma \cdot \sin p_1 \tau}{p_1(\omega_0^2 + s)} e^{-0,5\gamma\tau} - \frac{\gamma \cdot \operatorname{ch} 0,5\gamma\tau + 2p_2 \cdot \operatorname{sh} 0,5\gamma\tau}{p_2(s - \omega_0^2)} e^{-p_2\tau} \right\}, \quad (28)$$

а коэффициент взаимной корреляции в этом случае

$$K(0) = \frac{\pi D}{2\gamma} \left[\frac{1}{\omega_0^2 + s} - \frac{\gamma}{2p_2(s - \omega_0^2)} \right]. \quad (29)$$

Здесь $p_1 = \sqrt{\omega_0^2 + s - \gamma^2/4}$, $p_2 = \sqrt{s + \gamma^2/4 - \omega_0^2}$.

Анализ выражений (26)–(29) показывает следующее:

- ✓ В начальный момент времени значение взаимной корреляционной функции может изменять знак в зависимости от соотношения параметров ω_0 , s и γ .
- ✓ Следует ожидать, что внутриполушарные корреляционные связи флуктуационных процессов здорового мозга должны быть большими по сравнению с межполушарным вследствие более сильных связей, определяемых значениями коэффициента связи s .

- ✓ С увеличением расстояния между зонами мозга корреляционные связи должны уменьшаться из-за увеличения затухания среды γ .

На рис. 2–4 приведены радиотермограммы и оценки взаимных коэффициентов корреляции этих процессов, полученные при многоканальном мониторингировании излучения головного мозга: X_1 , X_2 ,

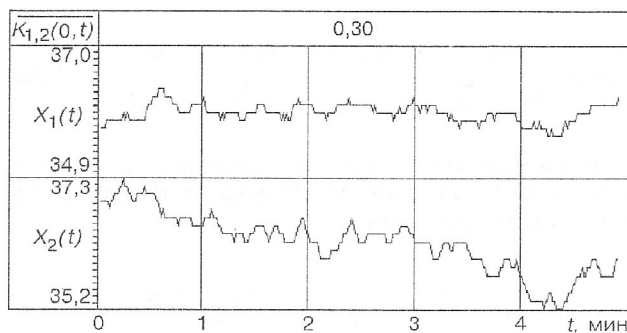


Рис. 2. Радиотермограммы излучения двух зон X_1 и X_2 левого полушария головного мозга пациента С.

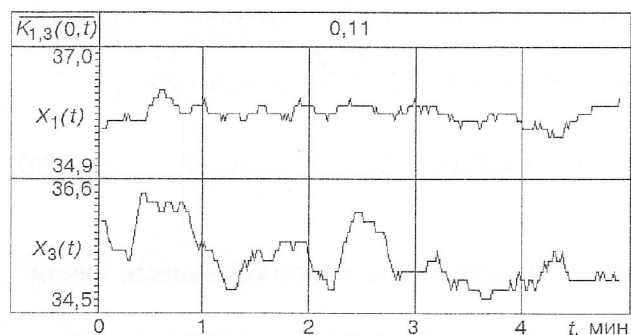


Рис. 3. Радиотермограммы излучения двух зон X_1 и X_3 левого полушария головного мозга пациента С. (расстояние между зонами X_1 и X_3 больше расстояния между зонами X_1 и X_2)

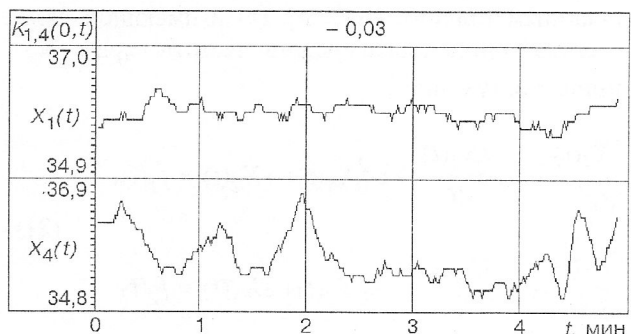


Рис. 4. Радиотермограммы излучения левого (X_1) и правого (X_4) полушарий головного мозга пациента С.



X_3 — зоны излучения — находятся в пределах одного полушария, X_4 — в другом полушарии. Зоны X_1 , X_2 и X_4 примерно равноудалены; расстояние между X_1 и X_3 больше, чем между X_1 и X_2 .

Изменения экспериментальных оценок коэффициентов взаимной корреляции пространственно-удаленных зон головного мозга подтверждают полученные в работе теоретические выводы.

На основании вышесказанного предлагается рассматривать пространственную корреляцию электромагнитного излучения головного мозга как оценку его регуляторных процессов [5]. На рис. 5 приведены радиотермограммы головного мозга спустя 30 мин после наступления клинической смерти у больного К. с массивным ишемическим повреждением левой гемисферы вследствие тромбоза

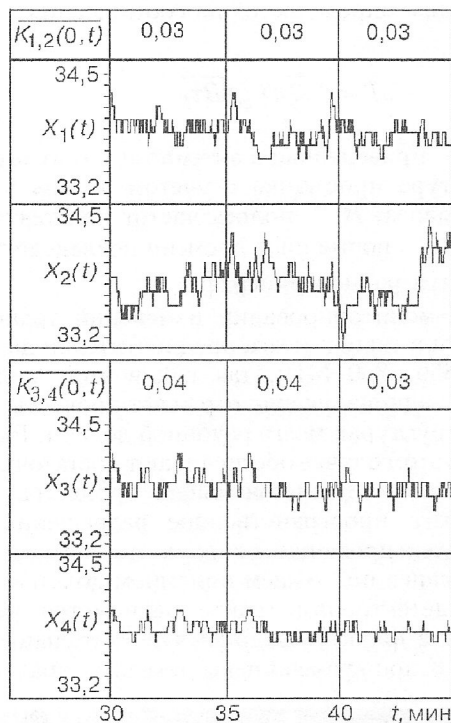


Рис. 5. Радиотермограммы излучения головного мозга пациента К. в ближайшем посмертном периоде: X_1 и X_2 — излучение левого полушария, X_3 и X_4 — излучение правого полушария

в бассейне средней мозговой артерии. Патанатомический анализ мозга показал наличие очага повреждения в левой теменной зоне размером 44×97 мм. Флуктуации радиоизлучения амплитудой до 1,5 К в зонах неповрежденного в прижизненных условиях правого полушария наблюдались на протяжении 85 мин после прекращения гемодинамики, однако их пространственная корреляция не обнаружена. На радиотермограмме левого полушария

флуктуации радиоизлучения практически отсутствуют вследствие развития ишемического отека нервной ткани при жизни больного.

Особенности построения многоканального радиотермографа

При мониторингировании функционального состояния головного мозга многоканальным радиотермографом применяются функциональные нагрузки, позволяющие наблюдать гемодинамические процессы в тканях мозга. Для обеспечения сходимости результатов реакцию на функциональную нагрузку анализируют относительно состояния функционального покоя. Продолжительность мониторингирования при стандартных испытаниях (гипервентиляция, фармакологические тесты, компрессионная проба, задержка дыхания, орто- и антиортостатическая нагрузки, дыхание газовыми смесями и т.д.) — в среднем от 5 до 30 мин. Эти особенности необходимо учитывать при конструировании прибора. Во-первых, для обеспечения условия термобаланса во входных цепях приемных каналов радиотермографа, при выполнении которого ошибка измерения мощности радиоизлучения T_x не зависит от согласования антенны-аппликатора с телом [6]. В нашем случае целесообразна непрерывная в течение всего интервала наблюдения автоматическая регулировка температуры нагрузки T_n , чтобы $T_x = T_L$. Такое инвариантное решение обеспечивается в нулевом радиометре, в котором, к тому же, не требуется термостатировать приемник.

Во-вторых, для реализации условия функционального покоя пациента устанавливаемые на его голове узлы радиотермографа должны иметь незначительную массу и позволять пациенту свободно перемещаться в пределах 30...50 см.

В известной схеме входного тракта приемника радиометра Dicke (рис. 6) элементы схемы термобаланса (переключатель, циркулятор и регули-

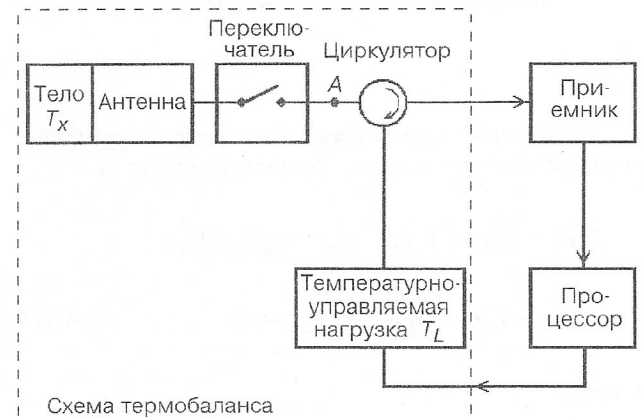


Рис. 6. Структурная схема радиометра Dicke [6]



емая по температуре нагрузка) должны быть конструктивно совмещены с антенной-аппликатором. При введении кабеля между переключателем и циркулятором появляется ошибка ε измерения мощности радиоизлучения, которая зависит от температуры окружающей среды и от изменения потерь в элементах схемы термобаланса

$$\varepsilon = T_x \frac{1 - \eta_k}{1 - \Gamma_o^2 \eta_k} - T_k \frac{\eta_k \Gamma_o^2 (1 - \eta_k)}{1 - \eta_k \Gamma_o^2} \quad (30)$$

Здесь T_x — радиояркая температура кабеля; $(1 - \eta_k)$ — потери в кабеле; Γ_o^2 — коэффициент отражения по мощности от антенны, характеризующий согласование антенны с телом.

Условия инвариантности оценки мощности радиоизлучения восстанавливаются, если в схеме термобаланса реализовать два цикла авторегулирования (рис. 7): в первом температура нагрузки T_{L2} регулируется относительно измеряемой яркой температуры ткани T_x , во втором — температура нагрузки T_{L1} регулируется относительно температуры нагрузки T_{L2} . [7].

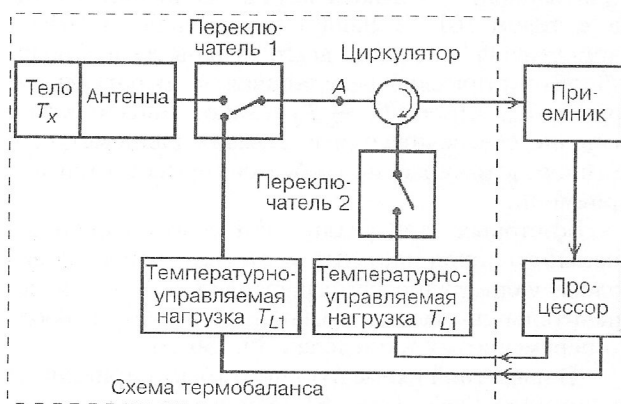


Рис. 7. Структурная схема радиометра с двумя циклами авторегулирования схемы термобаланса

Уравнение, описывающее процесс авторегулирования первого цикла в точке сравнения А,

$$T_x(1 - \Gamma_o^2) + [T_k(1 - \eta_k) + \eta_k T_{L2}] \Gamma_o^2 - T_x(1 - \eta_k) - \eta_k T_{L2} = 0, \quad (31)$$

второго

$$T_{L1} = T_k(1 - \eta_k) + \eta_k T_{L2} \quad (32)$$

Из совместного решения уравнений (31) и (32) $T_x = T_{L2}$, что обеспечивает несмещенную оценку радиояркой температуры T_x при изменении коэффициента отражения Γ_o^2 до 2,5...3,0 в условиях изменяющейся температуры окружающей среды. Следует отметить, что в радиометре с предлагаемой схемой термобаланса оценка T_x при изменении характеристик и остальных ее элементов (переключателя, циркулятора) и температуры окружающей среды существенно уменьшается.

В-третьих, при реализации многоканального радиотермографа необходимо минимизировать решение в задаче: стоимость — флуктуационная чувствительность — инерционность измерения — количество мультиплексируемых каналов. Флуктуационная чувствительность n -канального радиотермографа определяется из соотношения

$$\delta T = 3\sqrt{2}nT_{ш}\sqrt{B\tau_f},$$

где $T_{ш}$ — приведенная к антенному входу шумовая температура приемника с учетом потерь в схеме термобаланса; B — полоса частот додетекторного тракта; τ_f — постоянная времени последедетекторного фильтра радиотермографа.

При мониторингировании изменений транспорта жидкости в тканях мозга предпочтителен диапазон частот 650...850 МГц, так как в этой частотной области радиоизлучение отражает процессы в мозговых структурах мозга глубиной до 5 см. Размеры антенн в этом случае обеспечивают достаточное для исследования функциональных процессов головного мозга пространственное разрешение. При мультиплексировании от двух до четырех схем термобаланса при общем приемном додетекторном и последедетекторном тракте радиометра реально достижима флуктуационная чувствительность менее 0,12 К при времени переключения каналов 0,2 с

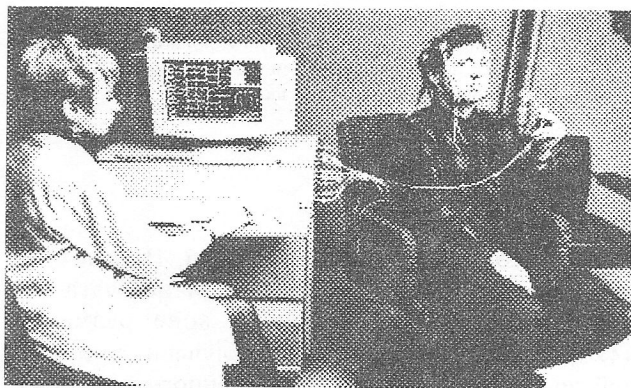


Рис. 8. Многоканальный радиотермограф в лаборатории мозгового кровообращения Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя для ветеранов войн



и постоянной времени последетекторного накопления — 4 с. Такие технические характеристики реализованы в 8 (16)-канальном радиотермографе РТВ-40, который эксплуатируется в лаборатории мозгового кровообращения Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя для ветеранов войн с 1994 г. (рис. 8).

Результаты клинической апробации многоканального радиотермографа для мониторингирования головного мозга

Многоканальный радиотермограф РТВ-40 успешно применяется в качестве монитора транспорта тканевой жидкости при электрофизическом лечении болевых синдромов головного мозга [5].

При положительном клиническом результате лечения, как правило, увеличивается значение коэффициента взаимной корреляции флуктуаций радиоизлучения до среднестатистической нормы: при мигрени — в 95 случаях из 127, после черепно-мозговых травм и сотрясений мозга — в 37

случаях из 45, после вывода из состояния алкогольной абстиненции — в 51 случае из 55. Приведенные результаты подтверждают эффективность многоканального радиотермографирования и пространственно-корреляционного анализа процессов гидродинамики в тканях мозга для оценки характеристик функциональных процессов головного мозга.

Заключение

Многоканальное радиотермографирование радиоизлучения головного мозга в диапазоне частот 650 ...850 МГц обеспечивает неинвазивное мониторингирование динамики жидкости в тканях мозга. Предложенная в работе пространственно-корреляционная методология анализа флуктуаций излучения позволяет количественно оценивать этот процесс. Заслуживают внимания результаты клинической апробации аппаратуры и метода, которые подтверждают перспективность направления.



Литература

1. Годик Э.Э., Гуляев Ю.В. Человек "глазами радиофизики". — Радиотехника, 1991, №8.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая радиофизика. — Теоретическая физика. т.5 — М.: Наука, 1964.
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. — М.: Наука, 1966.
4. Иванов К.П. Основы энергетики организма. Т.1. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. — Л.: Наука, 1990.
5. Азин А.Л., Кубланов В.С. Метод глубинной СВЧ-радиотермографии для изучения патогенеза головной боли. Электрофизический способ лечения головной боли. Медицинское обслуживание ветеранов войн. — Екатеринбург: УИФ Наука, 1995.
6. Land D. V. A clinical microwave thermography system., — IEE Proceedings, 1987, v.134, Pt.A, №2.
7. Пат. №2091805, 1992. Нулевой радиометр / Кубланов В.С., Дорофеев В.А. и др.

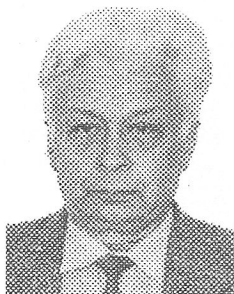
Поступила 1 декабря 1997 г.



**Сергей Васильевич
Беляков** —
вед. инженер ГНПП "Исток"
(г. Фрязино Моск. обл.).
Научные интересы:
твердотельная СВЧ-электроника,
электродинамика



**Олег Владимирович
Бецкий** —
д. ф.-м. наук, проф., зав. лаб.
ИРЭ РАН, ген. дир. ЗАО
"Медико-техническая ассоциация
КВЧ" (Москва).
Научные интересы:
электроника СВЧ и КВЧ,
исследование механизмов
взаимодействия низкоинтенсивных
электромагнитных ММ-волн с
биологическими объектами



**Юрий Григорьевич
Ярёменко** —
к. ф.-м. наук, вед. н. с. ИРЭ РАН
(г. Фрязино Моск. обл.).
Научные интересы:
радиофизика, КВЧ-терапия

Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии

С.В.Беляков, О.В.Бецкий, Ю.Г.Ярёменко

Дан обзор основных видов аппаратуры для КВЧ-терапии, используемой в стационарных условиях, амбулаторно и индивидуально.

More than 100 varieties of devices for EHF-therapy are produced now in Russia. The basic engineering solutions, used in these devices, are considered and the basic tendencies in their development are analyzed.

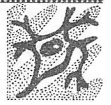
Введение

В медицине применяются электромагнитные (ЭМ) излучения различных диапазонов волн: от постоянных магнитных и электрических полей до коротких волн, которые включают в себя волны дециметрового, сантиметрового, миллиметрового, светового (лазеры), рентгеновского и γ -диапазонов. В данной статье рассмотрим применение исключительно миллиметровых (ММ) волн, к ним относятся волны с длиной от 1 до 10 мм в свободном пространстве и соответствуют частоты от 300 до 30 ГГц. Эти волны называются крайне-высокочастотными или сокращенно КВЧ. Поэтому медицинское применение ММ-волн получило название КВЧ-терапия или ММ-терапия.

Именно в России в середине 60-х годов были сделаны первые шаги в этом направлении. Успешная работа группы ученых под руководством академика Н.Д.Девяткова и профессора М.Б.Голанта завершилась заявкой на открытие "Резонансный ответ живых организмов на действие ЭМ-колебаний" (ОТ-10178 СССР с приоритетом от 04.12.79). В разработке различных аспектов данной проблемы в дальнейшем участвовали ведущие медицинские и научно-технические организации, высококвалифицированные специалисты в области медицины, физиологии, биологии, радиофизики и других специальностей. Опубликовано более 1500 статей, десятки сборников и книг, проведено более 20 крупных конференций и совещаний [1—4]. Хотя многое в механизме этого удивительного по своей эффективности способа воздействия на человеческий организм до сих пор остается до конца не ясным, не вызывает сомнений перспективность и полезность указанного направления в современной научной и практической медицине. В этом убеждает опыт тысяч врачей, использующих методы и аппаратуру КВЧ-терапии для успешного лечения десятков различных заболеваний, а также сотни тысяч больных, забывших о своих недугах после успешного лечения методами КВЧ-терапии. В какой-то степени и тот факт, что в нашей стране в короткие сроки разработано и выпущено на международный рынок несколько десятков различных КВЧ-аппаратов, которые успешно продаются и находят своего потребителя, тоже говорит в пользу этого метода. К настоящему времени создано более 100 типов аппаратов для КВЧ-терапии, причем разработки и исследования ведутся уже не только в России и странах СНГ, но и в странах дальнего зарубежья — Европы, Азии, Америки.

Первые медицинские приборы

Первые сообщения о лечебном применении ММ-волн нетепловой интенсивности содержатся в [5, 6]. Авторами этих работ в качестве



КВЧ-генераторов были использованы лампы обратной волны, созданные в НИИ "Исток" (г. Фрязино Моск. обл.).

Вскоре были разработаны первые аппараты для КВЧ-терапии ("Явь-1" [7] и "Электроника-КВЧ" [8, 9]). После успешной клинической апробации аппарат "Явь-1" (разработчики — проф. М.Б. Голант и Ю.В. Дедик, ГНТП "Исток", г. Фрязино) был рекомендован к серийному выпуску и применению Комитетом по новой медицинской технике Минздрава СССР и разрешен к применению в медицинской практике Приказом №901 от 22.07.87 г. Аппарат "Электроника КВЧ-01" (разработчики — О.И. Писанко и Ю.Н. Муськин, НПО "Сатурн", г. Киев) прошел в полном объеме медико-биологическую апробацию и был разрешен к промышленному выпуску и клиническому применению в 1990 г. (протокол №7 от 04.07.90 г. Комитета по новой медицинской технике Минздрава СССР). КВЧ-приборы первого поколения до сих пор широко используются врачами в клиниках и больницах, о чем свидетельствует тот факт, что в них были заложены оправдавшие себя удачные конструкторские решения.

В течение последних 10 лет более 10 методик лечения различных заболеваний прошли успешную апробацию и были утверждены Министерством здравоохранения бывшего СССР и РФ [10].

Длины волн. В аппаратах "Явь-1" используется узкополосное излучение на фиксированных длинах волн 5,6 и 7,1 мм; в аппаратах "Электроника" — излучение с длиной волны 4,9 мм, выбор которой был обоснован анализом особенностей распространения ММ-волн в атмосфере. На эту длину волны приходится пик поглощения ММ-излучения в атмосфере, обусловленный его взаимодействием с молекулами кислорода в воздухе. Длины волн, используемые в аппаратах "Явь-1", были найдены экспериментально в 70-х годах: непосредственно в условиях клиники (5,6 мм — В.А. Недзвецкий) [6] и в опытах с животными (7,1 мм — Л.А. Севостьянова, Т.Б. Реброва) [11].

Первое время и врачи, и исследователи считали, что лечебный эффект КВЧ-излучения носит острорезонансный характер и в данном случае необходима стабильность частоты с точностью до единиц мегагерц. Это послужило основанием для того, что в конструкцию "Явь-1" был изначально заложен контрольный КВЧ-резонатор, позволявший перед каждым лечебным сеансом производить требуемую настройку частоты генератора.

Некоторые врачи, начавшие работать с перестраиваемыми генераторами типа Г4-141, достаточно упорно отстаивали целесообразность поиска оптимальной частоты воздействия для каждого больного по его индивидуальным ощущениям. По-видимому, идя навстречу таким пожеланиям, в одной

из первых модификаций "Электроники" ("Электроника КВЧ-02") была заложена возможность плавной перестройки частоты в полосе 60...66 ГГц. В дальнейшем после того, как было высказано предположение о существовании "неблагоприятных" частот, от принципа индивидуального подбора частоты большинство исследователей отказались. Однако считать, что число "полезных" частот исчерпывается указанными тремя — нет никаких оснований [4, 24].

Мощность. Условной границей нетеплового воздействия при КВЧ-облучении принято считать 10 мВт/см² [12, 13]. Вплоть до этого уровня плотности потока энергии (ППЭ) усредненный по поверхности облучения нагрев живой ткани, вызванный КВЧ-облучением, не превышает долей градуса. При выборе генераторов и излучателей в КВЧ-аппаратах разработчики всегда стремились сохранить нетепловой характер облучения.

В генераторе "Явь-1" используются ЛПД (лавинно-пролетный диод) с мощностью 20...30 мВт и облучатели в виде прямоугольных рупоров с достаточно большой апертурой (~ 2 см²). Это позволило исследователям и врачам применять его для облучения зон Захарьина—Геда, открытых ран и т. д.

Для аппарата "Электроника-КВЧ" был разработан специальный полупроводниковый диод Ганна с выходной мощностью приблизительно 10 мВт, что привело к использованию более компактных рупоров с апертурой, не превышающей 1 см², или диэлектрических антенн. Поэтому он удобен для облучения биологически активных точек (БАТ).

Режимы модуляции КВЧ-излучения. В первых аппаратах для КВЧ-терапии использовались простейшие варианты низкочастотной модуляции несущего колебания.

В "Явь-1" изначально был заложен режим частотной модуляции в полосе (девиации частоты) примерно 100 МГц, чтобы обеспечить облучение объекта в пределах всей ширины биологического резонансного отклика. Свипирование КВЧ-излучения достигалось путем подачи электрического смещения с частотой сети на размещенный в резонаторной камере варакторный диод. Начальное смещение на варакторе подбирается таким образом, чтобы амплитудная модуляция излучения была минимальной. Однако исключить ее совсем не удастся и поэтому в большинстве аппаратов "Явь-1", кроме частотной, присутствует и паразитная амплитудная модуляция.

В "Электронике-КВЧ", наоборот, остановились на амплитудной модуляции, которая реализована с помощью электрически управляемого аттенюатора. В ее первых вариантах ("Электроника КВЧ-01") был реализован прерывистый режим из трех интервалов излучения и двух пауз между ними,



равных по длительности при любом (5...30 мин) времени процедуры. В последующих вариантах ("Электроника КВЧ-10" и др.) предусмотрены более сложные режимы как с временной манипуляцией (6 и 11 с), так и с модуляцией 5 или 45 Гц.

Выносная головка (аппликатор). Аппарат "Явь-1" представляет собой моноблочную конструкцию, закрепленную на достаточно массивном штативе (до 2,5 кг). Только в некоторых модификациях "Яви" от моноблочной конструкции отказались в пользу выносной излучающей головки. Наличие такой головки массой не более 0,5 кг с самого начала было положительным моментом в конструкции "Электроники". Это позволило использовать весьма малогабаритный штатив, уменьшить массу всего аппарата, а также перейти на двухголовочные аппараты с излучением на разных частотах.

Второе поколение КВЧ-аппаратуры

В последние годы число различных КВЧ-аппаратов вместе с модификациями превысило 100 типов. Некоторые из них выпускаются достаточно большими партиями, другие представлены единичными образцами. Основываясь на опубликованных данных, рекламных материалах, контактах с разработчиками, ниже проанализированы тенденции, проявляющиеся в разработках новых аппаратов [15–28].

Большинство новых аппаратов для КВЧ-терапии снабжено индикацией режимов работы, автоматической подстройкой частоты (вместо ручной), световой и звуковой индикацией начала и окончания лечебной процедуры, автоматическим отключением прибора после окончания процедуры, автоматизированием функций аппарата и др. Такая автоматизация даже при современной элементной базе ведет к увеличению размеров блока управления, появлению крупноразмерной панели с кнопками и индикаторами. С таким блоком соединены одна или несколько миниатюрных генераторных головок, которые используются или для облучения нескольких точек у одного больного, или для одновременного облучения нескольких больных. Так выглядят амбулаторные КВЧ-аппараты: "Электроника КВЧ-101-М", "Явь-1-универсал", "Луч КВЧ" (разработчик — А.Г.Яцененко, ИТМ, г.Днепропетровск).

Примером КВЧ-аппаратов, созданных с использованием самых современных достижений в технологии изготовления полупроводниковых микросхем ММ-диапазона, являются КВЧ-аппараты серии "КВЧ-М-1И-5,6/7,1-МТА", разработанные В.В.Авериним и А.Ф.Юхиным в ЗАО "МТА-КВЧ" по инициативе Н.Н.Лебедевой (торговая

марка аппарата — "Малыш") (Москва) [18]. Их отличительной особенностью являются сверхминиатюрные излучатели, выполненные по микрополосковой технологии, что позволило довести их массу до 16...30 г, а поперечные размеры до 25 мм в диаметре. В аппарате "Аквамарин" предусмотрена одновременная работа трех излучателей с произвольным набором генераторов на стандартные длины волн для КВЧ-терапии. Кроме этого, в нем расширен набор сервисных функций — бегущая строка на ЖК-дисплее с подсказками для пользователя, применение в программируемом режиме разработанных и запатентованных МТА-КВЧ новых программ лечения некоторых заболеваний, порт и интерфейс для соединения с компьютером и др.

Одной из новых тенденций является создание КВЧ-аппаратов, управляемых непосредственно от персонального компьютера. Созданы платы, встраиваемые в компьютер, обеспечивающие требуемые режимы питания полупроводниковых генераторов, включая различные виды модуляции. Разрабатываются автоматизированные рабочие места в кабинетах КВЧ-терапии с применением компьютерной техники как для управления процессом облучения, так и для проведения диагностики больного.

Наряду с такими многофункциональными аппаратами выпускаются КВЧ-головки с сетевыми адаптерами, достаточно простые в обращении, ориентированные в частности на "самолечение" в домашних условиях, подобно массажерам, кварцевым лампам, тонометрам. Они могут иметь аккумуляторное питание, примерно такое же, как у портативных аудиоплееров. В однокристалльный процессор может быть "зашит" десяток различных режимов модуляции. Малая масса головки не требует штатива. Ее удобно держать в руке или закрепить на теле кардиоплечушкой. Примерами таких приборов являются аппараты "Луч КВЧ".

Сочетание высокой профилактической и лечебной эффективности с простотой в использовании, низкой стоимостью таких аппаратов должно сделать их в ближайшем будущем такими же необходимыми и привычными в каждой семье, как термометр или ингалятор.

Мощность. Наблюдается постоянная тенденция к снижению уровня излучаемой мощности. Кроме очевидных экологических соображений (врачи опасались находиться вблизи КВЧ-аппаратов, включенных в течение рабочего дня), главным мотивом, побуждавшим разработчиков к снижению мощности КВЧ-генераторов, был следующий: при КПД диодов Ганна и ЛПД, равному приблизительно 1 %, тепловые нагрузки в первых КВЧ-генераторах составляли несколько ватт, и именно это обстоятельство заставило "спрятать" генератор "Явь-1" внутри большого корпуса (блока питания).



При поперечных размерах головки 5 см и массе 80...100 г у таких приборов, как “Электроника”, “Явь-103” (разработчики — М.И.Пойгина, г.Киев) [15], “Баюр” (разработчик — Ю.И.Орехов, г.Нижегород) [16], допустимое тепловыделение заставляет уменьшить излучаемую мощность до 10 мВт.

Существенного уменьшения размеров головки в аппаратах серии “Луч-КВЧ” (2-3 см и 4-5 г) удалось достичь только при использовании специально разработанных диодов с меньшим энергопотреблением и меньшей выходной мощностью (0,5...2 мВт).

Большой опыт медицинского применения этих приборов позволяет считать, что поверхностная плотность мощности (ППМ), равная 1 мВт/см², достаточна почти во всех случаях облучения БАТ. Большие уровни ППМ, используемые в “Явь-1”, безусловно, оправданы в случае облучения открытых ран и областей крупных суставов.

Некоторые КВЧ-приборы работают при еще меньших мощностях (0,01...0,1 мВт):* “Меридиан” (разработчик — Б.А.Наливайко, г.Томск), “Арцах” (разработчик — Р.С.Авакян, Армения) [18], но эти уровни облучения еще нуждаются в серьезной медицинской апробации.

Длины волн. Хотя разработчики проявляют понятный консерватизм и применяют, как правило, те же апробированные длины волн (4,9; 5,6; 7,1 мм), все же видно, что в новых приборах диапазон длин волн существенно расширился с тенденцией к их укорочению. Появились приборы с перестройкой частоты генерации, а также с квазишумовым спектром излучения. Многократно в литературе подчеркивалась перспектива применения для КВЧ-терапии длины волны приблизительно 2,5 мм, на которую приходится второй максимум поглощения молекулярного кислорода. Отмечалось, что проводились эксперименты с применением этой длины волны по стимуляции операторов, находящихся в экстремальных условиях (в скафандрах). Только недавно появились первые КВЧ-аппараты, излучающие в данном диапазоне, например “Мечта” (МТА-КВЧ, Москва) [18]. Этот аппарат ($\lambda = 2,53$ мм, выходная мощность $P = 3...5$ мВт) показал высокую эффективность при лечении ряда кожных заболеваний.

Отметим следующие варианты расширения рабочих частот. В комбинации приборов “Ялбот” и “Ярмарка”, разработанных в ГНТП “Исток” под руководством М.Б.Голанта и Ю.В.Дедика [19], предусмотрено облучение на следующих длинах волн: 5,6; 6,0; 6,4; 6,75; 7,1 мм. Прибор “Ярмарка”

фактически представляет собой 5-головочный вариант “Явь-1”. “Ялбот” представляет собой диагностический прибор, предназначенный для облучения не больного, а отобранных у него проб крови. После этого по специальным маркерам в крови больного выбирается индивидуальная оптимальная длина волны излучения, на которой происходит лечебное облучение. Большая исследовательская работа по выбору наиболее информативных маркеров и успешная клиническая апробация разработанной аппаратуры была проведена в городской клинической больнице № 6, Москва (под руководством М.В.Пославского).

В последнюю модель аппарата “Стелла” (разработчик — А.М.Кожмякин, г.Томск) [26] заложено использование совершенно иного набора частот. При этом авторы данной разработки и исследователи-врачи, применяющие этот аппарат, считают, что им удалось связать лечение тех или иных органов и систем человеческого организма с воздействием определенных частот ММ-диапазона ЭМИ. Так как это совсем новый подход, он нуждается в дополнительных исследованиях и более широкой медицинской апробации.

Группа ученых (под руководством Н.И.Синицына и В.И.Петросяна, Саратовский филиал ИРЭ РАН, Мединститут) успешно развивает предложенные ими спектрально-волновую диагностику и резонансно-волновую терапию. Эта лечебная методика основана на использовании в качестве основного диагностического средства радиометров. Авторы показывают высокую лечебную эффективность низкого по мощности (порядка 1 мкВт/см²) КВЧ-излучения с частотами 50,3; 51,8 65 ГГц [24–28].

Режимы модуляции КВЧ-излучения. В новых приборах все шире используются “сложные” сигналы. Под сложным сигналом подразумевается КВЧ-сигнал, промодулированный (“окрашенный”) дополнительным сигналом более низкой частоты. В результате модуляции какая-либо из характеристик КВЧ-сигнала (амплитуда, частота, поляризация) изменяется во времени по выбранному правилу, которое может представлять собой периодический процесс, например, чередование включенного и выключенного сигнала, плавное изменение по синусоидальному закону, чередование импульсов разной длительности с разными паузами (такие “дробные” режимы рекомендованы ослабленным больным) и т.д. В некоторых аппаратах осуществляется импульсная модуляция с частотой,

* Известны также КВЧ-аппараты, в которых используются сверхнизкие уровни мощности, значительно меньше 1 мкВт (аппараты типа “Порог”, “Минитаг” и др.), однако обсуждение этого вопроса выходит за рамки настоящей статьи.



изменяющейся от 3 до 8 Гц. Это так называемые “биологические” частоты, используемые в аппаратах электропунктуры.

Так как разработкой аппаратов для КВЧ-терапии занимаются радиоспециалисты, ранее связанные с разработкой связной, радиолокационной и другой аппаратуры, где в целях кодирования (сжатие или засекречивание информации) используется множество видов модуляции, все эти виды модуляции вольно или невольно “перекочевывают” в аппараты для КВЧ-терапии. Конечно, авторы каждого нового прибора с новым видом модуляции каким-то образом аргументируют преимущества и пользу этого прибора. Какую пользу это приносит в действительности пациенту — могут определить только клинические испытания.

Поскольку в последних моделях КВЧ-приборов обычно используются однокристалльные процессоры, в память которых можно “записать” десятки режимов излучения, возможности разработчиков реально опережают возможности врачей объективно проверять все предлагаемые режимы.

Удачным оказалось медицинское применение КВЧ-генераторов с особым режимом шумового, недетерминированного излучения на тех же апробированных длинах волн. Использование такого излучения основывалось на предположении, что организм человека, как частотно-избирательная система, сам выберет из воздействующего шумового КВЧ-сигнала индивидуальную частоту, соответствующую данному организму и данной патологии. Впервые такой режим был реализован по инициативе ВНК “КВЧ” (Москва) на длинах волн 5,6 и 7,1 мм в аппарате “Шлем” (разработчики — Е.А.Мясин и В.Д.Котов, ИРЭ РАН, г.Фрязино Моск. обл.) [21], несколько позже и на длине волны 4,9 мм в “Электронике КВЧ-104”.

Излучатели. В рассматриваемых аппаратах используются излучатели самых различных типов: рупорные, точечные, в виде плоских аппликаторов, ножевые, диэлектрические, сверхминиатюрные, рассчитанные для аурикулярной пунктуры. Принимаются меры к согласованию излучения с кожей облучаемого пациента, что снижает отраженную мощность и повышает эффективный КПД.

Многофункциональные аппараты. Здесь следует рассмотреть два типа аппаратуры. К первому отнесем те аппараты, в которых КВЧ-воздействие совмещается с другими видами полей (лазерным, магнитным, ИК и т. д.). Различные виды воздействия могут быть одномоментными или чередоваться во времени. Излучатели могут быть смонтированы в одной или нескольких головках. Как правило, прибор имеет процессор, позволяющий выбрать нужный режим облучения. Одним из первых приборов этого типа был аппарат “Луч-1” (разра-

ботчик — С.Н.Антонов, ИРЭ РАН, г.Фрязино) [17], который реализовывал порознь или совместно облучение лазером на длинах волн 0,63 и 0,85 мкм и КВЧ-облучение на длине волны 7,1 мм с широким набором модуляционных функций.

К этому же типу аппаратов следует отнести стимулятор “Джуна” [25]. В нем КВЧ-воздействие сочетается с ИК-излучением и НЧ-электрическими полями. Аппарат “Пакт-02” представляет собой комбинацию приборов “Арцах” и “Милта” (постоянное магнитное поле, ИК и световое излучение) [19].

Второй класс составляют многофункциональные аппараты или целые лечебно-диагностические комплексы (ЛДК), объединяющие лечебное КВЧ-облучение с диагностикой. Одним из первых такой ЛДК предложил А.Г.Яцененко. Он добавил к своим многоканальным приборам для КВЧ-терапии типа “Луч-КВЧ” специальный аппарат электропунктурной диагностики “Луч КВЧ-Д”, который по электрофизическим параметрам (комплексная проводимость, анодно-катодная проводимость и градиент температуры), измеряемым на постоянном и переменном токе, позволяет получить объективную информацию о состоянии организма и выделить органы и системы с патологией [22]. Медицинский центр “БелНико” (г. Витебск) предлагает компьютеризированные ЛДК, где с аппаратами “Явв” совмещены диагностический электропунктурный прибор “Эутония” и диагностика по Фолю-Катину.

В НПО “Форум” (ИРЭ РАН) под руководством профессора В.Я.Кислова и доктора физико-математических наук В.В.Кислова разработан ЛДК “Шарм”, в котором поиск точек акупунктуры, риодораку и фолевская диагностики позволяют производить целенаправленную, контролируемую коррекцию состояния организма с помощью КВЧ-облучения [23]. С 1994 г. успешно применяется ЛДК “САР” на новых частотах — 50,3; 51,8 и 65 ГГц [24, 28]. ЛДК “МИДИС-710-4” (разработчик — А.Н. Веткин, МИДИС, Москва) имеет встроенную систему поиска БАТ и диагностическую систему акабане. Аппарат “Стелла-2” (разработчик — А.М.Кожемякин, г.Томск) имеет встроенную фолевскую диагностику, которая позволяет произвести индивидуальный подбор лечебной частоты и оценить качество проведенной процедуры [26].

Корпоральную компьютерную диагностику по методу риодораку и акабане позволяет выполнить диагностический медицинский адаптер “Алма”, функционально и программно-соединенный с аппаратом “Электроника КВЧ-101Ш” в кабинете компьютерно-функциональной диагностики, предлагаемой МП “ДДМ-ЭЛМЕД” (Киев, О.И. Писанко). Программно-диагностический комплекс

“Мидин-КВЧ” (Р.С.Авакян, ООО “Колояр”) создан для врачей иглотерапевтов, применяющих КВЧ-пунктуру.

Представление о будущем развитии КВЧ-аппаратуры

Совершенствование производства микросхем ММ-диапазона с использованием микрополосковой технологии позволяет предполагать, что в ближайшее время появятся микросхемы, с помощью которых можно совмещать в одной головке два (или более) генератора.

Нам кажется, что в будущем произойдет наблюдающееся уже сейчас разделение КВЧ-аппаратуры на два различных направления: портативные приборы для домашнего лечения и стационарные ЛДК.

Решающим шагом на пути превращения КВЧ-аппликатора в широко распространенный семейный прибор станет замена используемых сейчас в генераторах диодов Ганна и ЛПД на транзисторы. Разрабатываемые в настоящее время транзисторы ММ-диапазона будут иметь больший КПД и стоить дешевле. Первое обстоятельство позволит уменьшить массу головки до нескольких граммов и полностью перейти на аккумуляторное питание; второе, естественно, приведет к общему снижению стоимости таких аппаратов.

Кроме того, наличие дешевых и доступных КВЧ-приборов позволит рекомендовать для достаточно широкого круга людей профилактическое КВЧ-облучение с целью биологической стимуляции жизнедеятельности организма в целом, активации процессов обмена и повышения иммунного статуса, лечения ряда болезней в домашних условиях.

В других случаях при более серьезных заболеваниях врач, обследуя пациента с использованием лечебно-диагностической аппаратуры, будет индивидуально подбирать для него оптимальные частоту, мощность и режим облучения, зоны и точки воздействия, следить с помощью компьютера за реакцией организма на облучение и т.д. Очень

важным шагом вперед для КВЧ-аппаратов такого типа окажется использование обратной биологической связи, т.е. корректировка параметров облучения по реакции организма.



Заключение

1. Несмотря на то, что в большинстве аппаратов используют КВЧ-излучение с хорошо известными длинами волн (7,1; 5,6; 4,9 мм), диапазон частот, применяемых в аппаратах для КВЧ-терапии, расширяется.

2. Уровни излучаемой мощности в новых аппаратах находятся в пределах примерно от 40 до 100 мкВт (и даже ниже).

3. Используются три вида излучения — квази-монохроматическое (или непрерывная генерация), модулированное и шумовое.

4. Применяется широкий набор видов модуляции: частотная, амплитудная, импульсная. Характерные частоты модуляции лежат в пределах 0,1 Гц...20 кГц.. Сигнал модуляции может быть простым (синусоида, прямоугольные импульсы) или сложным (кардиограмма, музыка и др.)

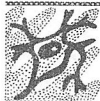
5. Возрастает объем сервисных функций в виде различного рода индикаторов, таймеров, автодиагностики, автоподстройки и др. В приборах имеется возможность изменять уровень мощности, вид спектра, модуляции (“форму” сигнала). Все чаще используется компьютерное управление режимами работы аппаратов. Продемонстрированы возможности создания КВЧ-аппаратуры с элементами текущего контроля за лечением и биологической обратной связи.

6. Появились КВЧ-аппараты с одновременным применением других средств физиотерапии (светодиоды, лазеры, постоянные и переменные магнитные поля).

7. Распространенной тенденцией является создание кабинетов КВЧ-терапии, содержащих несколько различных КВЧ-аппаратов, средства диагностики обычно в сочетании с арсеналом стандартных медицинских средств.

Литература

1. Деятков Н.Д. Научная сессия ООФА АН СССР, 17–18 янв. 1973. — УФН, т.1103, 1973.
2. ММ волны в биологии и медицине (Библиогр-кие сб-ки). — М.: МТА-КВЧ. 1993, 1996.
3. Межд. симп. “ММ волны нетепловой интенсивности в медицине”. — Сб. тр., т.1–3. — М.: ИРЭ РАН, ВНК “КВЧ”, 1991.
4. 10 Росс. симп. “ММ-волны в медицине и биологии”. — Сб. тр. — М.: ИРЭ РАН, МТА “КВЧ”, 1995.
5. Черкасов И.С., Недзвецкий В.А., Гиленко А.В. Биомедицинские эффекты ММ-волн. — Офтальмологический журнал, 1978, №3.
6. А. с. № 733697, № 773995. Способ лечения поврежденных биологических тканей / Черкасов И.С., Недзвецкий В.А.
7. Дедик Ю.В., Кругляков Н.А., Реброва Т.Б. и др. Малогабаритная экспериментальная терапевтическая



- установка для лечения СВЧ-облучением. — Электрон. техника. Сер. I. Электроника СВЧ, 1984, вып. 6.
8. Гассанов Л.Г., Писанко О.И. и др. Аппараты "Электроника-КВЧ" для медико-биологических исследований и КВЧ-терапии. — В сб. "ММ волны в медицине и биологии" / Под ред. акад. Н.Д.Девяткова — М.: ИРЭ АН СССР, 1989.
 9. Аппараты "Электроника-КВЧ" в биологии и медицине / Под ред. Л.Г.Гассанова. — М.: ВИМИ, 1990.
 10. Методические рекомендации по применению ММ-терапии при различных нозологических формах. — М.: МТА-КВЧ, 1992.
 11. Севастьянова Л.А., Виленская Р.Л. Исследование влияния радиоволн СВЧ ММ-диапазона на костный мозг мышей. — УФН, 1973, т.110.
 12. Foster K.R., Schwan H.P. Dielectric properties of tissue — Handbook of biological effects of electromagnetic fields / Ed. C.Polk, E.Postom. — Cleveland; CRC Press, 1987.
 13. Бецкий О.В., Голант М.Б., Девятков Н.Д. ММ-волны в биологии. Сер. Физика. — М.: Знание, 1991, №6.
 14. 11 Росс. симп. "ММ волны в медицине и биологии". — Сб. тр. — М.: ИРЭ РАН, МТА-КВЧ, 1997.
 15. Звериковский И.В., Пойгина М.И. Перспективные источники излучения для КВЧ-терапии. — В сб. тр. Межд. симп. "ММ-волны нетепловой интенсивности в медицине", т.1—3. — М.: ИРЭ РАН, ВНК "КВЧ", 1991.
 16. Орехов Ю.И., Хохрин Л.П. и др. Аппарат двухчастотный для КВЧ-терапии "Баюл-01". — В сб. тр. Межд. симп. "ММ-волны нетепловой интенсивности в медицине", т.1—3 — М.: ИРЭ РАН, ВНК "КВЧ", 1991.
 17. Антонов С.Н., Бецкий О.В. Терапевтический аппарат "Луч-1" с комбинированным лазерным и КВЧ излучениями. — В сб. тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 18. Аверин В.В., Юхин А.Ф. Исследование и разработка малогабаритных генераторов ММ-диапазона для КВЧ-терапии. В сб. тр. 11 Росс. симп. "ММ волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА-КВЧ, 1997; ж. "ММ волны в биологии и медицине", 1997, №9—10.
 19. Авакян Р.С., Габриэлян Г. и др. Устройство "Арцах" для микроволновой резонансной терапии. — Электронная промышленность, 1990, №12.
 20. Голант М.Б., Дедик Ю.В., Кузнецов А.П. Приборы для КВЧ-диагностики "Ялбот" и аппараты для КВЧ-терапии "Ярмарка". — В сб. тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 21. Мясин Е.А. Котов В.Д. Аппарат для КВЧ терапии "Шлем-1". — В сб. тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 22. Яцунико А.Г., Наливайко В.С., Прохоров Е.Ф. Разработка лечебно-диагностического комплекса "Луч-КВЧ". — В сб. тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 23. Девятков Н.Д., Кислов В.Я. и др. Лечебно-диагностический комплекс "Шарм" — В сб. тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 24. Лисенкова Л.А., Петросян В.И. и др. Применение методов спектрально-волновой диагностики и резонансно-волновой терапии. — В сб.тр. 10 Росс. симп. "ММ-волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА "КВЧ", 1995.
 25. Пат. НР №94031539/14 (Россия). Устройство стимуляции. / Борунов А.В., Давиташвили Е.Ю. и др.
 26. Кожемякин А.М., Спиридонов А.Н. Аппараты КВЧ-терапии серии "Стелла". — В сб.тр. 11 Росс. симп. "ММ волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА-КВЧ, 1997.
 27. Эльман С., Бугаев О. и др. Программно-аппаратный комплекс "Мидин-КВЧ". — В сб.тр. 11 Росс. симп. "ММ волны в медицине и биологии". — М.: ИРЭ РАН, МТА-КВЧ, 1997.
 28. Синицын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.И. и др. Особая роль системы "миллиметровые волны — водная среда" в природе. — Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, №1.

Поступила 14 января 1998 г.



Экспериментальное исследование на животных изменения процентного состава изоферментов лактатдегидрогеназы в семенниках при СВЧ-облучении промышленно-технических частот

В.И.Афромеев, В.Н.Ткаченко***

Трехсантиметровый диапазон сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения по широте его использования и градации уровней мощности является наиболее технически используемым: от бытовой и народнохозяйственной серийной техники и оборудования до радиолокационных комплексов специального назначения. Учитывая специфику воздействия электромагнитных полей (ЭМП) СВЧ- и крайне высокочастотного (КВЧ) диапазонов различной интенсивности на биообъекты [1, 2], а также необходимость адекватной оценки этого воздействия при разработке медицинской СВЧ- и КВЧ-аппаратуры [3], важно проведение комплексных исследований с целью оценки защищенности персонала, с одной стороны, выявление позитивного терапевтического эффекта — с другой. В настоящем сообщении приводятся результаты исследования содержания изоферментов лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в семенниках крыс при воздействии ЭМП СВЧ трехсантиметрового диапазона длин волн. Результаты эксперимента над животными позволяют сделать определенные выводы о влиянии данного излучения на органы мочеполовой системы человека.

Основные результаты экспериментального исследования

Эксперимент проводился на белых крысах-самцах линии Вистар. Крысы подвергались общему воздействию ЭМП СВЧ трехсантиметрового диапазона с поверхностной плотностью излучения 4-5 мкВт/см² в безэховой камере в течение 10 сут.

Проведенные опыты показали, что в тканях семенников контрольной группы крыс определя-

лись шесть изоферментов ЛДГ, процентное содержание которых было различным: самое высокое отмечено со стороны ЛДГ₁ (39,64 ± 1,78 %), несколько ниже, но довольно высокое, ЛДГ₂ (31,18 ± 0,60 %), существенно ниже оказалось содержание ЛДГ₄ (14,06 ± 1,45 %) и ЛДГ₅ (10,97 ± 0,89 %). Очень низкий показатель обнаружен со стороны ЛДГ₃ — 3,28 ± 0,25 %; но самым низким оказалось содержание ЛДГ_x — 0,87 ± 0,12 %. Здесь следует отметить, что, по данным А.В.Прохоренко (1990 г.), в эякуляте мужчин с нормозооспермией содержание ЛДГ_x по сравнению с другими фракциями также наблюдается самым низким.

После воздействия ЭМП СВЧ в течение 10 сут были установлены нарушения парциального содержания изоферментов ЛДГ в тканях семенников крыс. В частности, содержание ЛДГ₁ повысилось до 43,35 ± 1,84 %; разница с содержанием у контрольной группы статистически недостоверна. Однако выявлено статистически достоверное снижение содержания ЛДГ₂ до 28,22 ± 0,86 % ($p < 0,05$). Достоверно повышенным оказалось содержание ЛДГ₃: 5,97 ± 0,93 % ($p < 0,05$). Со стороны ЛДГ₄ и ЛДГ₅ выявлено небольшое и статистически недостоверное снижение до 11,40 ± 0,53 и 9,22 ± 0,53 % соответственно. В то же время содержание ЛДГ_x оказалось значительно и достоверно повышенным до 1,84 ± 0,34 % ($p < 0,05$).

Таким образом, после воздействия ЭМП СВЧ с указанными выше характеристиками в течение 10 сут, выявлено повышение содержания изоферментов ЛДГ₁, ЛДГ₃ и ЛДГ_x, тогда как содержание остальных оказалось сниженным. Отмечена раз-

* Научно-производственное предприятие "Стек", г.Тула.

** Днепропетровская государственная медицинская академия, кафедра госпитальной хирургии, г.Днепропетровск.



личная степень изменений. Так, например, повышение ЛДГ₁ и снижение ЛДГ₄ и ЛДГ₅ отмечены как небольшие и статистически недостоверные; особенно незначительное снижение имело место со стороны ЛДГ₅: $9,22 \pm 0,53$ % при $10,97 \pm 0,89$ % в контроле. Снижение ЛДГ₂ в абсолютном выражении было небольшим по сравнению с контролем, однако статистически достоверным. Почти вдвое выше

контроля, значительным и достоверным было изменение содержания ЛДГ₃, однако наиболее существенным изменениям подвергалась ЛДГ_x, поскольку ее содержание превышало контроль более чем в два раза.

Результаты исследования могут быть использованы при оценке безопасности работы человека с ЭМП трехсантиметрового диапазона, а также в терапии заболеваний органов мочеполовой системы пациентов-мужчин.



Литература

1. Взаимодействие физических полей с живым веществом / Е.И. Нефедов, А.А. Протопопов, А.Н. Семенов, А.А. Яшин; Под ред. А.А. Хадарцева. — Тула: Изд-во Тульск. гос. ун-та, 1995.
2. Миллиметровые волны в медицине: Сб. ст./Под ред. Н.Д.Деяткова и О.В.Бецкого. — М.: Изд-во ИРЭ, 1991, тт.1,2.
3. Афромеев В.И. Соотношение биологического, физического и математического в реализации лечебно-диагностического воздействия высокочастотных полей. — Вестн. новых медицинских технологий, 1997, т.IV, №1, 2.

Поступила 5 мая 1998 г.

Международное совещание "Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование"

§ С 18 по 22 мая 1998 г. в Москве на базе Института медицины труда АМН РФ состоялось Международное совещание, проходившее под эгидой Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Министерства здравоохранения РФ, Академии медицинских наук РФ, Института медицины труда РАМН, ГНЦ РФ — Института биофизики, Центра электромагнитной безопасности и Института биофизики клетки РАН.

В работе Совещания приняли участие 95 человек — исследователи из России и 20 зарубежных коллег из Белоруссии, Болгарии, Германии, Канады, США, Финляндии, Швеции, ЮАР и Японии. К сожалению, не смогли приехать докладчики из Киева, Харькова, Витебска и Ростова-на-Дону. Тем не менее большинство пунктов программы было выполнено при активном обсуждении устных и стендовых сообщений.

Программа Совещания включала последовательную работу шести секций с устными и стендовыми докладами, пресс-конференцию и посещение Института биофизики клетки РАН в Пущино-на-Оке.

При открытии Совещания директор Института медицины труда РАМН академик *Н.Ф.Измеров* отметил большой вклад институтских исследователей из Лаборатории электромагнитных излучений в создании гигиенических стандартов для различных электромагнитных полей (ЭМП) в СССР и в России. Здесь важны заслуги прежних (*З.В.Гордон, Б.М.Савин*) и сегодняшнего (*Ю.П.Пальцев*) руководителей лаборатории. Итоги Совещания будут стимулировать дальнейшее развитие этого трудного и важного дела.

Представитель ВОЗ *М.Риначолли* подчеркнул глобальный характер влияния различных ЭМП на здоровье населения и ознакомил слушателей с рекламным листком Международного проекта по исследованию влияния на здоровье людей различных ЭМП (от 0 до 300 ГГц). Отмечено, что ЭМП могут вызывать онкологические заболевания, изменять поведение, снижать память, способствовать появлению болезней Паркинсона и Альцгеймера. Необходимо объединение усилий исследователей разных стран и специальностей для выполнения предлагаемого Проекта, который поддерживают правительства более 40 стран и десятки международных организаций.

В **секцию 1** вошли доклады по основным проблемам Совещания. *Ю.П.Пальцев* и *Г.А.Суворов* (Москва) изложили методологию гигиенического нормирования различных ЭМП в России и оценку их вредного действия на организм. В нашей стране нормирование ЭМП радиочастотного диапазона базируется не столько на тепловом действии фактора, сколько на стойких функциональных нарушениях в деятельности ведущих систем организма.

Ю.Бернхард (Мюнхен) отметил критерии развития международных стандартов ЭМП. *Ю.Г.Григорьев* (Москва) подчеркнул важную роль модуляции ЭМП в развитии

соматических реакций организма. *Б.Клейнберг* (Техас) говорил о нормировании неионизирующих излучений для военных подразделений в НАТО.

Секция 2 “ЭМП источники и дозиметрия” включала доклады *М.Израела* (София), где перечислялись методы оценки биологического действия ЭМП; *М.Г.Шандалы* (Москва), где излагались методы контроля искусственных и естественных ЭМП, и доклад *Ю.М.Сподобаева* (г.Самара) о методах прогнозирования и нормирования искусственных ЭМП.

Доклады **секции 3** “Общие реакции на воздействие ЭМП” содержали сведения о влиянии ЭМП на биосистемы разного уровня организации. Важная роль нервной системы (НС) в реакциях организма на ЭМП отмечалась в трех докладах. *Е.Б.Лысков* (С.-Петербург) считает, что НС наиболее чувствительна к низкочастотным ЭМП, близким к ЭЭГ или промышленным частотам (50...60 Гц).

Вариации биотропных параметров ЭМП увеличивают их биологическую эффективность. Комбинация постоянных и переменных полей (ПМП и ПеМП) обнаруживает узкие окна в их соотношениях. У лиц с гиперчувствительностью к ЭМП обнаружены повышенный симпатический тонус и увеличение реакций на различные сенсорные стимулы.

Ю.А. Холодов (Москва) в докладе “Неспецифическая начальная адаптационная реакция мозга (НАРМ) на различные ЭМП” отмечал модулирующее действие разных ЭМП, выражающееся в неспецифической реакции НС, включающую слабую боль, снижение памяти, возникновение ЭЭГ-реакции синхронизации вплоть до гиперсинхронных разрядов и активацию нейроглии.

К.В.Судаков (Москва), модулируя УВЧ-поле (39 МГц) низкими частотами (2; 7; 50 Гц), наблюдал угнетение оборонительных условных рефлексов у крыс. Частота самораздражений резко снижалась при модуляции 50 Гц, медленнее при 7 Гц, а при 2 Гц отмечали даже начальное повышение частоты самораздражений. Делается вывод о влиянии ЭМП определенных параметров на эмоционально окрашенные реакции крыс, направленные на удовлетворение ведущих биологических потребностей.

В.Н.Бинги (Москва), разбирая состояние теоретических исследований в области магнорецепции на биофизическом уровне, указывает на 14 вариантов возможных процессов, некоторые из которых являются “кандидатами” на предсказательную модель.

В докладе *О.В.Бецкого и Н.Н.Лебедевой* (Москва) “О чувствительности живых организмов к сверхслабым ЭМП миллиметрового диапазона” упоминается один из механизмов, перечисленных в предыдущем докладе. Речь идет о влиянии ЭМП на водные системы. Взаимодействуя с молекулами воды, ЭМП может существенно изменить свойства воды как с внешней, так и с внутренней стороны клеточной мембраны за счет конвективного движения жидкости. Высокая чувствительность организма к ЭМП может объясняться кооперативными эффектами и процессами регенеративного усиления на уровне биологических мембран.

В.Г.Петин и др. (г.Обнинск) в экспериментах на одноклеточных показали существование специфического теплового действия ЭМП, отличающегося от простого тепло-

вого воздействия. *Г.В.Козьмин* и др. (г.Обнинск) отмечали влияние хронического СВЧ-излучения на некоторые компоненты аграрных экосистем (насекомые, растения и почвенные микроорганизмы). Обнаружили как стимуляцию, так и подавление изучаемых жизненных процессов.

Секция 4 “Биологическое действие постоянных и низкочастотных ЭМП” представила следующие доклады.

Л.В.Походзей (Москва) впервые предложила “Временные допустимые уровни ослабления интенсивности ГМП на рабочих местах” на основе литературных и экспериментальных данных о неблагоприятном действии гипо-ГМП.

М.Н.Жадин (г.Пушино) на основании собственных экспериментальных данных описал биофизические механизмы действия слабых ПМП и ПеМП, было рассмотрено влияние МП на тепловое движение тока в глубинных участках макромолекулы или микрокристалла. *В.В.Леднев* (г.Пушино) развивал свою модель взаимодействия МП с биосистемами, называя ее с 1989 г. теорией магнитного параметрического резонанса. Важная роль в этой теории отводится ионам кальция. В последние годы получены экспериментальные подтверждения теории в некоторых лабораториях США и Канады.

К.А.Труханов (Москва) подробно обсуждал механизмы резонансов при совместном действии ПМП и низкочастотных ПеМП. *Э.Дэвид* и др. (г.Нортрин, Германия) сообщил о природе электромагнитной гиперчувствительности, выявленной на основании субъективных жалоб, связанных с деятельностью НС (обследуемые были женщины в возрасте 42—45 лет). Предполагается, что существует своеобразная аллергия к ЭМП. *В.Н.Анисимов* и др. (С.-Петербург) отметили, что ЭМП видеотерминала персонального компьютера может способствовать возникновению и развитию различных новообразований. Важную роль в механизме такого действия ЭМП отводят снижению секреции гормона эпифиза мелатонина. *Б.Н.Жуков* (г.Самара) рассказал о терапевтическом действии МП в ангиологии.

Секция 5 была посвящена биологическому действию высокочастотных ЭМП. *Е.Е.Фесенко* (г.Пушино), исследуя влияние ЭМП миллиметрового диапазона на деятельность изолированной антенны насекомого, обнаружил, что облученный водно-солевой раствор вызывает такую же реакцию фрагмента мембраны, как и прямое действие ЭМП на систему мембрана—раствор. Важную роль в конечной реализации биологического эффекта отводят ионам кальция. *Э.Ш.Исмаилов* и др. (г.Махачкала) подчеркивают важную роль биологических мембран в биофизическом механизме действия микроволн.

Международный доклад *А.Г.Пахомова* и др. (Россия и США) был посвящен дозным зависимостям биоэффектов сверхвысоких импульсных микроволн.

Ю.Б.Кудряшов и др. (Москва), используя поведенческие, гематологические, иммунологические, биохимические и другие методы, пришли к выводу, что импульсные ЭМП радиочастотного диапазона обладают большей биологической эффективностью, чем непрерывные ЭМП при одинаковой средней мощности. *В.Н.Никитина* (С.-Петербург), изучая отдаленные последствия действия ЭМП разночастотного диапазона в клинических и экспериментальных условиях, обнаружила ускорение процессов старе-

ния мужского организма, что необходимо использовать при гигиенических рекомендациях. *А.Г.Коноплянников* и др. (г.Обнинск) обнаружили усиление канцерогенного влияния уретана у мышей при дополнительном воздействии СВЧ-излучений нетепловой интенсивности, которые сами по себе такого эффекта не вызывали.

В работу **секции 6** включались доклады, посвященные стандартам и защите. *Н.Б.Рубцова* и др. (Москва) отметили важность оценки магнитной составляющей при гигиеническом нормировании ЭМП промышленной частоты. *Л.П.Жаворонков* и др. (г.Обнинск) предложили модель теплового действия ЭМП с учетом функционирования терморегуляции. Повышение температуры тела не должно превышать $0,2^{\circ}\text{C}$. Расчеты показали, что в итоге ПДУ должен составлять приблизительно 1 мВт/см . *М.Мелц* (Сан-Антонио) в своих тезисах обсуждает спорные вопросы о генетическом влиянии ЭМП и ссылается на соответствующие публикации.

Состояние и внедрение гигиенических регламентов в России осветили в своих докладах для низкочастотных ЭМП *Н.Б.Рубцова* (Москва), а для радиочастотного диапазона *К.В.Никонова* (Москва). В докладе *Ю.Г.Григорьева* и др. (Москва) отмечена от имени четырех организаций регламентация ЭМП от систем мобильной радиосвязи.

На последнем заседании проходила плодотворная дискуссия по вопросам биологического действия, гигиенического нормирования различных ЭМП и внедрения нормативов. Отмечены достижения российских исследователей в области обнаружения новых факторов, требующих гигиенического нормирования (ГГМП, сотовая радиосвязь, ЭМП компьютеров). Детализированы некоторые особенности реакций НС (включая эпилептические разряды в ЭЭГ). Активно исследуются биофизические механизмы биологического действия ЭМП.

Доктор биологических наук, профессор
Ю.А.Холодов